



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Agnes Teorein

**KOLME ERINEVA SÖÖDA MÕJU ÜHE- JA
KAHEAASTASTE JÕEVÄHKIDE (*ASTACUS ASTACUS*)
KASVULE JA ELLUJÄÄMUSELE**

**THE EFFECT OF THREE DIFFERENT FEEDS ON GROWTH
AND SURVIVAL OF ONE- AND TWO YEAR OLD NOBLE
CRAYFISH (*ASTACUS ASTACUS*)**

Magistritöö
Kalanduse ja rakendusökoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Katrin Kaldre, *PhD*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Agnes Teorein		Õppekava: Kalandus ja vesiviljelus	
Pealkiri: Kolme erineva sööda mõju ühe- ja kaheaastaste jõevähkide (<i>Astacus astacus</i>) kasvule ja ellujäämusele			
Lehekülgi: 54	Jooniseid: 24	Tabeleid: 9	Lisasid: 1
Osakond: Põllumajandus- ja keskkonnainstituut ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: B402 Juhendaja(d): Katrin Kaldre Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Järjest enam pööratakse tähelepanu vähkide kasvatamisele nii looduslike asurkondade taastamiseks kui toidutootmiseks, kuid kaubandusliku tootmise tasemeni jõudmiseks puudub sobiva koostisega sööt. Paljud kasvandused kasutavad vähkide söötmiseks jõevähile koostise poolest sobivat karpkala kommertssööta, kuid levinud on ka kala ja teraviljaga söötmine. Lisaks ei pöörata söötmisel tähelepanu söötmisrežiimile, mis viitab vähikasvatuse arengu kitsaskohtadele ja võib olla madalate toodangumahtude põhjus. Sobiva sööda leidmiseks hakkas Eesti Maaülikool koostöös Sannio Ülikooliga Itaalias välja töötama erisööta jõevähile, mille jaoks oli vaja läbi viia söötmiskatsed nii akvaariumitingimustes kui ka erinevates vähikasvandustes. Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata kolme koostise poolest erineva sööda mõju ühe- ja kaheaastaste jõevähkide kasvule ja ellujäämusele sumbakatses, mille jaoks viidi RMK Põlula kalakasvanduses läbi söötmiskatse. Katse tulemustes selgus, et 1- aastastele noorvähkidele on sobilik suurema proteiinisaldusega (>30%) kuid väiksema rasvasisaldusega sööt (<10%). Suurim kasv oli karpkala söödal (Carp Aller Classic Vitamax), kus proteiinisaldus oli 33,5% ning rasvasisaldus 7%. EMÜ söödalaboris läbi viidud keemilise analüüsi (Weende) põhjal oli Sannio Ülikoolis välja töötatud 2- aastaste vähkide Economy söödas proteiinisaldus 38,7% ja rasvasisaldus 12,2%, Gold söödas vastavalt 39,1% ja 13,3%, mis on esialgsetest sööda disainimisel lähtunud arvutuslikest väärtustest oluliselt suuremad. Erinevus arvutuslike väärtuste ja keemilise analüüsi vahel näitab, et söödakomponentide tootjate poolt esitatud toitainete sisaldused ei vasta tegelikkusele, mille tõttu sööda disainimine arvutuslike väärtuste põhjal annab valed toitainesisaldused.</p> <p>Lisaks võis vähkide kasvu pärssida kasvuperioodil liiga madal veetemperatuur ning paremate tulemuste saamiseks oleks vajalik olnud kasutada veesoojendajaid, mis aga tiigikasvanduses oleks liiga kulukas. Kõikides katsegruppides oli isaste vähkide kasv oluliselt suurem kui emastel. 2019. a katses oli vigastuste osakaal emaste vähkide seas suurem kui isastel, mis viitab sorteerimise vajadusele juba 1- aastaste vähkide seas, kuna isaste kiirem kasv suurendab kannibalismi. Ellujäämused söödagruppide vahel oluliselt ei erinenud ja olid mõlemal katseaastal väga kõrged. Polüfenoole sisaldav Economy sööt ei avaldanud võrreldes muude söötadega vähi ellujäämusele kahe katseaasta põhjal olulist mõju. Samas võib polüfenoole sisaldav sööt võrreldes teiste söötadega avaldada ellujäämusele positiivset mõju pikema perioodi vältel.</p>			
Märksõnad: jõevähk, proteiin, rasvad, söötmine, vähisööt, sumbakatse			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Agnes Teorein		Curriculum: Institute of Agricultural and Environmental Sciences	
Title: The effect of three different feeds on growth and survival of one- and two year old noble crayfish (<i>Astacus astacus</i>)			
Pages: 54	Figures: 24	Tables: 9	Appendixes: 1
Department/ Chair: Institute of Agricultural and Environmental Sciences Field of research and (CERC S) code: B402 Supervisors: Katrin Kaldre Place and date: Tartu 2021			
<p>Increasing attention is being paid to the cultivation of crustaceans for both natural population restoration and food production, but there is no suitable feed to reach the level of commercial production. Many farms use commercial carp feed that is suitable for crayfish, but feeding crayfish with fish and grains is also common. Farmers also does not pay attention to the feeding regime, which indicates bottlenecks in the development of crayfish farming and may be the reason for low production volumes. In order to find suitable feed, the Estonian University of Life Sciences, in cooperation with Sannio University in Italy, started to develop special feed for noble crayfish, for which it was necessary to carry out feeding experiments both in aquarium conditions and in different crayfish farms. The aim of this study was to assess the effect of three different feeds on the growth and survival of one- and two-year-old noble crayfish in a cage trial, for which a feeding experiment was performed at RMK Põlula Fish Farm. The results of the experiment showed that feeds with a higher protein content (> 30%) but a lower fat content (<10%) are suitable for juveniles. The largest growth increase was in carp feed group (Carp Aller Classic Vitamax), where the protein content was 33.5% and the fat content was 7%. According to a chemical analysis (Weende) carried out in the feed laboratory of the Estonian University of Life Sciences, the protein content of Economy feed for 2-year-old crayfish developed in Sannio University had a protein content of 38.7% and a fat content of 12.2%. The protein content of Gold feed for 2-year-old crayfish developed in Sannio University had a protein content of 39.1% and fat content of 13.3%, which is significantly higher than the initial feed design calculations. The difference between the calculated values and the chemical analysis shows that the nutrient contents provided by the feed material manufacturers do not correspond to reality, due to which the design of the feed on the basis of calculated values gives incorrect nutrient contents.</p> <p>In addition, the growth of crayfish may have been inhibited by too low water temperatures during the growing season, and it would have been necessary to use water heaters to obtain better results. In all experimental groups, the growth of male crayfishes was significantly higher than female crayfishes. In the 2019 experiment, the proportion of injuries among female crayfishes was significantly higher than in males, which indicates the need for sorting juvenile crayfishes, as the faster growth of males increases cannibalism. Survival rates did not differ significantly between feed groups and were very high in both experimental years. The Economy feed containing polyphenols did not have a significant effect on crayfish survival compared to other feeds based on the two experimental years. However, feed containing polyphenols can have a positive effect on long-term survival compared to other feeds.</p>			
Keywords:noble crayfish, protein, lipids, feeding, crayfish feed, cage trial			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	8
1.1. Jõevähi süstemaatiline kuuluvus ja levik	8
1.2. Jõevähi bioloogia.....	9
1.2.1. Välisehitus	9
1.2.2. Elutsükkel ja paljunemine	10
1.2.3. Kasv ja kestumine.....	11
1.2.4. Toitumine	12
1.2.5. Nõuded elukeskkonnale.....	13
1.3. Kasvatamisel kasutatav vähisööt.....	15
1.3.1. Söötade koostis ja söötmisrežiim	15
1.3.2. Toitainete vajadus.....	16
1.4. Vähi noorjärkudega läbi viidud söödakatsed	16
1.5. Vähkide kasvu mõjutavad tegurid	19
1.5.1. Veeparameetrid.....	19
1.5.2. Valgusrežiim.....	19
1.5.3. Toitumine	20
1.5.4. Asustustihedus	20
1.6. Vähkide suremust mõjutavad tegurid kasvatustingimustes.....	21
2. MATERJAL JA METOODIKA	24
2.1. Katsetingimused	24
2.2. Katse läbiviimine 2019. a suvel 1- aastaste vähkidega	26
2.3. Katse läbiviimine 2020. a suvel 2- aastaste vähkidega	27
2.4. Söötade koostis.....	28
2.5. Andmete analüüs	30
3. TULEMUSED	31
3.1. 2019. a söötiskatse 1- aastaste vähkidega	31
3.1.1. Juurdekasv	31
3.1.2. Puuduvate ja taastuvate jäsemetega vähkide osakaal	35
3.1.3. Ellujäämus	36
3.2. 2020. a söötiskatse 2- aastaste vähkidega	36
3.2.1. Juurdekasv	36

3.2.2. Puuduvate ja taastuvate jäsemetega vähkide osakaal	41
3.2.3. Ellujäämus	42
4. ARUTELU	43
4.1. 2019. a kasv ja ellujäämus.....	43
4.2. 2020. a kasv ja ellujäämus.....	45
KOKKUVÕTE	48
KASUTATUD KIRJANDUS	50
LISAD	54
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	55

SISSEJUHATUS

Jõevähk (*Astacus astacus*) on Euroopa kohalik vähiliik, mille varud on alates 19. sajandi lõpust kõikjal drastiliselt vähenenud tänu elupaikade hävimisele ja keskkonnareostusele. Kõige suuremat suremust põhjustab aga vähikatk, mida levitavad Ameerikast pärit vähi võõrliigid, kes ise on katku suhtes immuunsed ning lisaks keskkonnamuutuste suhtes vastupidavamad ja viljakamad kui kohalikud liigid. Eesti jõevähi asurkondade seisund on viimastel aastakümnetel olnud stabiilne, kuid viimase kümnendi jooksul on Eestis avastatud kolm vähi võõrliiki, mis ohustavad kohalikke jõevähi populatsioone.

Järjest enam pööratakse tähelepanu vähkide kasvatamisele nii looduslike asurkondade taastamiseks kui toidutootmiseks, kuid kaubandusliku tootmise tasemeni jõudmiseks puudub sobiva koostisega sööt (Seemann *et al.* 2017). Eestis on 2019. a seisuga PTA andmetel registreeritud 24 vähikasvandust.

Mitmed neist kasutavad vähkide söötmiseks jõevähile koostise poolest sobivat karpkala kommertssööta, kuid levinud on ka kala ja teraviljaga söötmine. Lisaks ei pöörata söötmisel tähelepanu söötmisrežiimile (Vähikasvatuse seis... 2018), mis viitab vähikasvatuse arengu kitsaskohtadele ja võib olla madalate toodangumahtude põhjus.

Euroopa Kalandusfondi rahastatava vesiviljeluse innovatsioonitoetuse projekti „Ressursi- ja keskkonnasäästlike lahenduste väljatöötamine jõevähkide söötmisel, tagamaks vähikasvatuse efektiivsuse ja toodangu suurendamist Eestis“ raames hakati Eesti Maaülikoolis koostöös Sannio Ülikooliga Itaalias välja töötama spetsiaalset sööta jõevähile. Söötmiskatsed viiakse läbi nii akvaariumitingimustes Eesti Maaülikooli laboris kui erinevates vähikasvandustes.

Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata kolme koostise poolest erineva sööda mõju ühe- ja kaheaastaste jõevähkide kasvule ja ellujäämusele sumbakatses RMK Põlula kalakasvanduses.

Eesmärgi saavutamiseks püstitati järgmised uurimisülesanded:

1. Hinnata kolme erineva sööda mõju 1- aastaste jõevähkide kasvule ja ellujäämusele RMK Põlula kalakasvanduse sumbakatses 2019. aastal.
2. Hinnata kolme erineva sööda mõju 2- aastaste jõevähkide kasvule ja ellujäämusele RMK Põlula kalakasvanduse sumbakatses 2020. aastal.

Söötmisskatse viidi läbi ajavahemikul 19.06.2019-15.10.2020 (2019 1- aastased; 2020 2- aastased) RMK Põlula kalakasvatustes. 2019. a katse alguses asustati 18-sse sumpas 540 vähki, igasse 30 isendit. Katse lõpus vähid loendati, kaaluti ning mõõdeti täispikkused ja karapaksi pikkused. 2020. a 2- aastaste vähkide kasvuperioodiks jäeti katsesse kokku 288 vähki ehk igas sumbas 16 vähki. Katse lõpus ja alguses mõõdeti sarnaselt 2019. a katsele täispikkus, mass, karapaksi pikkus kuid lisaks ka karapaksi laius. Mõlemal aastal olid kõik katsegrupid kuues korduses ning söödaks kasutati kolme koostise poolest erinevat sööt. Söötadeks olid karpkala kommertssööt, mis on Eesti vähikasvatajate seas praktiseeritud sööt ning Itaalia Sannio Ülikoolis spetsiaalselt välja töötatud Economy sööt, mille komponendid on odavamad ning Gold sööt, mille komponendid on kallimad. 2020 a. katseks Itaalia söötasid muudeti ja suurendati proteiinisaldust söödas, 7.05.2020 - 29.06.2020 söödeti kõiki katsegruppe Carp söödaga kuna COVID pandeemia tõttu ei jõudnud Economy ja Gold söödad õigeks ajaks Itaaliast Eestisse. Kolme erineva söödaga jätkati alates 29. juunist. Sööta anti mõlemal aastal üks kord päevas, söödanormiks ~2% vähkide kehamassist. Katse vältel kirjutati üles veeparameetrite näidud ning lisaks jälgiti kestumist ja söömisaktiivsust.

Töös antakse kirjanduse ülevaade jõevähi bioloogiast, kasvatamisel kasutatavatest söötadest, varasematest söötmissalastest katsetest ning vähkide kasvu ja suremust mõjutavatest teguritest. Seejärel kirjeldatakse käesoleva katse materjali ja meetodikat, esitatakse tulemused ja nende arutelu ning järeldused.

Töö autor soovib eriliselt tänada oma juhendajat Katrin Kaldret, kes oli väga suureks toeks ja abiks magistritöö koostamiselt ning Marina Haldnat, kes oli abiks töö statistilise analüüsi tegemisel.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Jõevähi süstemaatiline kuuluvus ja levik

Jõevähk ehk harilik jõevähk (joonis 1) kuulub hõimkonda lüljalgsed (*Arthropoda*), klassi ülemvähid (*Malacostraca*), seltsi kümnejalalised (*Decapoda*), sugukonda jõevähklased (*Astacidae*) ja perekonda jõevähk (*Astacus*) (Longshaw, Stebbing 2016).



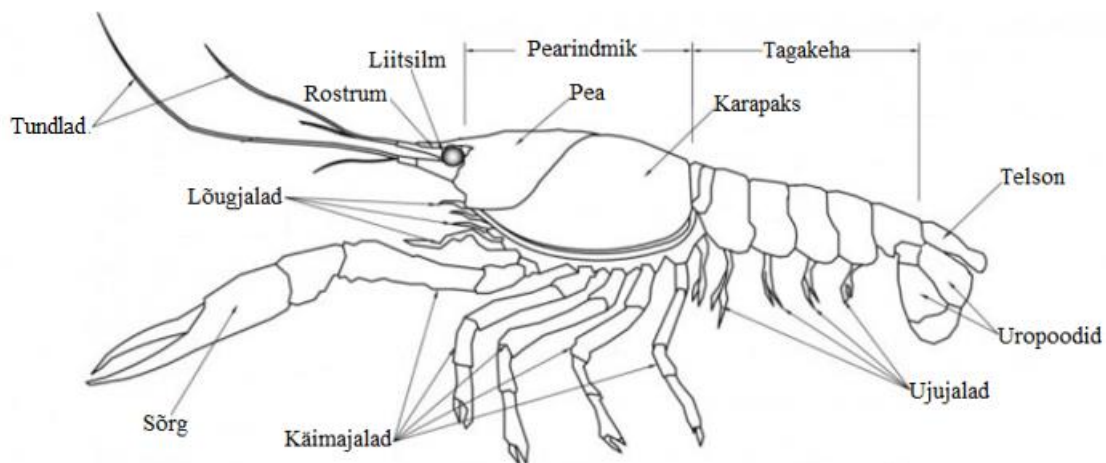
Joonis 1. Jõevähk (*Astacus astacus*) (More Than a Dodo 2017).

Maailmas on hetkel teadaolevalt kokku üle 640 mageveevähi liigi ning igal aastal avastatakse keskmiselt 5-10 uut liiki (Crandall 2014). Viimaste andmete alusel elab Euroopas kokku 15 liiki, neist viis on kohalikud ja kümme sisserännanud liigid. Jõevähk on Euroopas arvukalt esinev mageveevähi liik, keda leidub 39 territooriumil, peamiselt Põhja- ja Kesk Euroopas ning on ohustatud kogu leviala ulatuses (Holdich *et al.* 2009). Vähipopulatsioonid on viimastel aastakümnetel jõuliselt vähenenud, peamiselt sissetoodud võõrliikide tõttu, kes kannavad ja levitavad vähikatku. Samuti on suureks probleemiks inimtekkelised mõjud, nagu reostus ning elupaikade hävimine ja kadumine (Johnsen *et al.* 2020).

1.2. Jõevähi bioloogia

1.2.1. Välisehitus

Vähkide kest on ainulaadse koostisega, mis sisaldab valku (20-30%), kaltsiumkarbonaati (30-40%) ja kitiini (20-30%), lisaks väheses koguses lipiide ja astaksantiini (Chen *et al.* 2020). Vähiliste keha koosneb pearindmikust ja lülilisest tagakehast. Pearindimikku katab tugev kest ehk karapaks, mis katab rindimiku mõlemat külge, kaitstes vähi lõpuseid, lisaks on karapaks pikenenud ettepoole, moodustades rostrumi, mis kaitseb silmi. Tagakeha ehk lakk on märkimisväärselt painduv, mille järsult liigutamine aitab vähil tagurpidi liikuda, see aga omakorda lõpeb telsoniga ehk sabauimega (joonis 2) (Ingle 1997).



Joonis 2. Jõevähi välisehitus (Aquarium breeder *s. a.*).

Peas paiknevad tundlad, mis aitavad vähkil maitsta ja lõugjalad, mida kasutatakse toitumiseks. Jõevähil on välja kujunenud viis paari jalgu, kus kõige esimest paari kutsutakse sõrgadeks ning mille eesmärgiks on enesekaitse, paaritumine ja toidu haaramine. Järgmised neli paari on käimajalad, mille kahe esimese eesmärgiks on liikumine ja toitumine ning kahe viimase eesmärgiks on ainult liikumine. Tagakeha all on viis paari ujujalgu, mille esimene paar ei ole emastel hästi välja arenenud, mistõttu on need väiksed, kuid isastel on esimene paar välja kujunenud sugujalgadeks. Viimase nelja paari ujujalgade eesmärk on ujumine ning on mõlemal sool samasugused (joonis 2) (Ingle 1997).

1.2.2. Elutsükkel ja paljunemine

Vähid paarituvad sügisel vastavalt veetemperatuurile, kas oktoobris või novembris. Vähhidel puudub vastestaadium ning kogu areng toimub marjas sees. Marjast kooruvad noorvähid, kes on välimuselt täiskasvanud vähi moodi (Longshaw, Stebbing 2016). Marja inkubeerimine kestab külmas kliimas kuus kuni kaheksa kuud, kuid madal temperatuur pikendab inkubatsiooniperioodi ja lükkab edasi koorumist, mis toimub mai lõpust juuni lõpuni. Noorvähhidel eristatakse kahte astet, kus I astme vähid on äsja koorunud ja liikumisvõimetud ning II astme vähkideks saavad nad alles peale esimest kestumist, iseseisvale elule minnakse 20-25 päeva peale koorumist. Looduslikes tingimustes saabub isaste vähkide suguküpsus ligikaudu kolme aastase, kuid emaste vähkide suguküpsus saabub reeglina aasta hiljem. Kehvade tingimuste korral lükkub suguküpsuse saabumine edasi 1-2 aasta võrra (joonis 3) (Aydin, Dilek 2004; Mannonen, Paaver 2001).



Joonis 3. Vähi elutsükkel (Alderman, Wickins 1996).

Jõevähid on lahsugulised ning sugunäärmed asetsevad rindmikus ja suurenevad sigimise ajal. Paljunemiseks on emastel vaja kestuda, kuna kergelt pehme karapaks aitab marja väljutada. Kestumise järel laseb isane väikese koguse spermat emase suguavade juurde, mis viljastab marja. Marja hoiustatakse laka all ning selle värvus muutub koos arenguga (Hollows 2016).

1.2.3. Kasv ja kestumine

Tugeva ja mitte-elastse välisskeleti tõttu peavad vähid kasvamiseks koorikut vahetama ehk kestuma (Luquet *et al.* 2016). Kõva välisskelett takistab pidevat pikkuse ja massi juurdekasvu ning seetõttu kasvavad vähid kestumise ajal hüppeliselt. Kestumisprotsess koosneb neljast etapist:

1. Mineraalide (kaltsiumkarbonaat, CaCO_3) imendumine;
2. Vana välisskeleti eraldamine;
3. Vee sissevõtmine keha suuruse suurendamiseks;
4. Uue kõva välisskeleti kaltsifitseerimine. (Zimmerman 2009)

Kui temperatuur ja toidu kättesaadavus on sobivad, kestuvad isased jõevähid aastas kaks korda. Esimene kestumine leiab aset kevade keskel või suve alguses ning teine suve lõpus või varasügisel. Emased, kes on hõivatud järglastega, kestuvad reeglina üks kord aastas suve lõpus või varasügisel (tabel 1) (Zimmerman 2009).

Tabel 1. Vähkide kestumiste sagedus sõltuvalt vanusest (Mannonen, Paaver 2001)

Vanus	Kestumiste arv aastas
Ühesuvised	4-7
Kahesuvised	2-4
Kolmesuvised	2-3
Neljasuvised	2
Täiskasvanud isased	1-2
Täiskasvanud emased	0-1
Vanad vähid	Üle aasta

Kestumine leiab aset reeglina öösiti, kuna kaitsva välisskeleti puudumine muudab jõevähid kiskjate ja keskkonnategurite suhtes haavatavaks. Kestumist reguleerivad hormoonid ning protsess on noorvähkidel ja täiskasvanutel vähkidel sarnane, ainsaks erinevuseks on, et noorvähid kestuvad tihedamini. Vähkide toitumine väheneb enne kestumist ning nad peidavad end varjupaikades (Ingle 1997; Zimmerman 2009).

Vähid kulutavad ühe päevaga ära enda reservkaltsiumi, mis asub mao seintes asuvatest kivikestest, et kaltsifitseerida suuosad, kuna nad ei suuda muidu füüsiliselt toituda. Lisaks söövad vähid ära enda vana kesta, et taastada kaltsiumisisaldus kehas (Zimmerman 2009; Kozak *et al.* 2015).

Individuaalsed kasvud on vähkidel erinevad, mistõttu on vanust suuruse järgi raske hinnata. Kasv määratakse välismõõtmiste põhjal, nagu karapaksi pikkus ja mass. Juurdekasv peale kestumist on vähkidel tavaliselt vahemikus 5% kuni 10%, kuid isastel võib olla see suurem (Zimmerman 2009).

Peamised kasvu ja kestumist mõjutavad tegurid on temperatuur, fotoperiood, põhja substraadi koostis, varjepaikade kättesaadavus, lahustunud hapniku sisaldus, pH ja saadaval olev kaltsium. Kasvukiirust reguleerib ka asustustihedus, toidu kättesaadavus ja kvaliteet, näiteks kõrge valgusisaldus. Lisaks on olulised vähi vanus ja suurus (Kouba *et al.* 2010; Zimmerman 2009).

Enamasti on noorte vähkide kasv isomeetiline ehk kasv on kogu kehas ühtlane, samas kui täiskasvanute kasv võib olla allomeetiline ehk mõned kehaosad kasvavad rohkem kui teised, näiteks kasvavad isastel sõrad kiiremini kui ülejäänud keha (Zimmerman 2009).

Kestumisprotsessi ajal keeravad vähid ennast küljele ning kesta lõhenemine algab pearindmiku selja- ja kõhuosa vahelises membraanis. Seejärel tõmmatakse jäsemed ja kõhtmine osa ettevaatlikult kestast välja, kuna jäseme kaotamisel võivad vähid surra verekaotusesse. Uue kesta kaltsifitseerimine võib aega võtta 24-48 tundi (Ingle 1997).

1.2.4. Toitumine

Mageveevähid on omakasupüüdlikud omnivoorid ning toituvad peaaegu kõigest, mis kättesaadav. Neil on eriline magu, mistõttu suudavad nad toituda kõikidest troofilistest tasemetest - filtreerida fütoplanktonit, süüa vetikat, loomset liha ja selgrootuid, kaasaarvatud liigikaaslast (Hollows 2016). Söödaks võivad olla veel kalamari, ussid ja teod, kelle puhul süüakse ära lisaks ka koda, et suurendada enda kaltsiumivarusid. Lisaks aitavad nad kaasa veekogude puhastumisele, süües surnuid loomi ja veetaimi (Grimm 2000). Vee

ökosüsteemis on nad kiskjad teistele veeselgrootutele, kuid on ka tähtsad toiduobjektid suurematele veeloomadele nagu meriforell ja ahven (Holdich 2002).

Vähkide looduslik toidu koostis muutub nende vanusega. Täheldatud on, et nooremad vähid tarbivad rohkem vetikaid ja putukaid nagu ühepäevikulised, kevikulised, ehmeistiivalised ja kahetiivalised ning suuremad vähid toituvad pigem taimsest söödast ning eelistavad lepa- ja vahtralehti. Ligikaudu 65% noorvähkidest tarbivad loomset toitu, samas kui täiskasvanud vähid tarbivad ainult 10% (Holdich 2002).

1.2.5. Nõuded elukeskkonnale

Vähid on ektotermilised ehk nende kehatemperatuur sõltub väliskeskkonnast. Temperatuur on peamine abiootiline tegur, mis mõjutab ektotermiliste loomade bioloogiat, füsioloogiat, levikut ja käitumist (Westhoff, Rosenberger 2016). Jõevähi maksimaalse kasvu temperatuur on vahemikus 16-24 °C, kuid ta suudab taluda temperatuuri kuni 28 °C. Kui temperatuur püsib vähemalt kolm kuud alla 10-15 °C, piirab see kasvu ja kestumised ebaõnnestuvad, samas mari vajab ellujäämiseks madalama temperatuuriga perioodi (<10 °C) (Zimmerman 2009). Temperatuuritõusul väheneb hapnikukontsentratsioon ja kiireneb vähkide ainevahetus. Kõrgema temperatuuri korral suureneb väljutatava ammoniaagi ja süsihappegaasi kogus, mille tagajärjel suureneb vähkide agressiivne käitumine (Westhoff, Rosenberger 2016; Ingle 1995).

Hapnikusisaldus sõltub veetemperatuurist, näiteks 10 °C juures on hapnikusisaldus 11.3 mg/l ja 25 °C juures on hapnikusisaldus 8,2 mg/l ehk soojemas vees on hapnikusisaldus väiksem. Jõevähkidel loetakse kriitiliseks hapnikutaset alla 3 mg/l ja optimaalseks >5 mg/l. On teada, et mõned vähid võivad elada üle ka lühiajalise hapnikutaseme languse (Zimmerman 2009; Kozák *et al.* 2015).

Optimaalne pH vähkidele on 7-8,5 ning pH alla 5,5 põhjustab otseseid surmavaid mõjusid ja reproduktiivseid häireid, mis on tingitud mõjust embrüole ja noorvähkidele. Lisaks madala pH väärtuse korral kaltsiumi omastamine ja imendumine väheneb, mille tagajärjel hakkavad kestumised ebaõnnestuma, mis omakorda põhjustab haavatavust kiskluse ja kannibalismi suhtes (Zimmerman 2009; Kozák *et al.* 2015).

Vähkidele on pikaajaline kokkupuude ammoniaagi (NH₃), nitraadi (NO₃) ja nitritiga (NO₂) mürgine ning vähendab vähi immuunsust, suurendades haigustesse nakatumise riski (Longshaw, Stebbing 2016). Ammoniaagi tase ei tohiks tõusta üle 0,10 mg/l. Ammoniaak oksüdeerub autotroofsete *Nitromonas* bakteriliikide poolt nitrititeks ning selle kontsentratsioon ei tohiks olla kõrgem 0,10-0,20 mg/l. Autotroofsed *Nitrobacter* liigid oksüdeerivad nitriti nitraadiks ning selle väärtus ei tohiks ületada 0,20 mg/l (Ingle 1995).

Enamus vähiliike nõuavad siiski elamiseks head veekvaliteeti, kuid suudavad elada ka veekogudes, kus orgaaniline reostus on madal või isegi mõõdukas, mille tõttu on vees ka madalam hapnikusisaldus. Vähid võivad kokku puutuda anorgaaniliste saasteainetega, nagu vääveldioksiid (põhjustades happelihmasid), väetis (eutrofeerumine) ja raskemetallid. Vee-elupaikadesse võivad sattuda ka orgaanilised saasteained (nt farmaatsiajäägid, pestitsiidid), mis on väga mürgised kemikaalid. Vees sisalduvatel mürgistel materjalidel võib olla katastroofiline mõju. Paljud uuringud on näidanud, et need võivad otseselt mõjutada ka mageveevähke, põhjustades kahjustusi raku ja organismi tasandil või isegi suremust (Reynolds, Souty-Grosset 2012).

Veeorganismidel peetakse kaltsiumi (Ca) üheks olulisemaks mineraaliks ja see on vajalik normaalse kasvu ja mitmesuguste füsioloogiliste protsesside jaoks. Vähkidel on kaltsium primaarne anorgaaniline komponent kesta ja väliskeletis. Koorikloomade ja vähkide peamised kaltsiumiallikad on vesi ja vees olevad toitained, mis sisaldavad ioonkaltsiumit. Kaltsiumisisaldus vees peab olema kõrge, kuna madal kaltsiumisisaldus pehmendab olemasolevat kesta ning mõjutab kestumisel uue kesta kaltsifitseerumist (Mazlum, Sirin 2020). Optimaalseks kaltsiumisisalduseks peetakse 20–30 mg/l, kuid kindlasti ei tohiks kaltsiumisisaldus langeda alla 5 mg/l. Paljud vähikasvatajad lisavad tiikidesse kaltsiumirikast lupja, kuid soovitatavalt tuleks seda teha enne vähkide tiiki toomist ning väikses koguses, et pH ei ületaks soovitud taset. Kaltsiumi tõttu muutub ka tiikides oleva vee pH kõrgemaks (Hollows 2016).

Vähkidele on sobilik ebatasane, kivine või kruusane pinnas. Neile ei sobi elupaigaks pehmest settest koosnev pinnas (lendmuda), kuna vähid ei suuda seal hingata. Jõevähid teevad elamiseks väikseid ja lihtsaid urge, kus nad veedavad enamuse oma ajast ning lahkuvad ainult toitumiseks, elupaiga vahetuseks ning paarilise otsimiseks. Noorvähid eelistavad elada 20 cm sügavusel kivisel ja taimsel pinnasel, samas kui täiskasvanud vähid kasutavad kõiki saadavalolevaid elupaikasid (Zimmerman 2009; Laanetu *et al.* 2004).

1.3. Kasvatamisel kasutatav vähisööt

1.3.1. Söötade koostis ja söötmisrežiim

Poolintentsiivsetes kasvandustes kasutavad vähid 50% looduslikku toitu, mis hõlmab veetaimi, zooplanktonit või zoobentost. Euroopa tiigikasvatuse vähikultuur põhinebki enamjaolt zooplanktonil, zoobentosel ja veetaimedel, lisaks antakse kanatükke, kalaliha ja kalasööda graanuleid. Sageli antakse ka taimi nagu teravili, kartul, õun ja porgand (Kozák *et al.* 2015, Ackefors 2000).

Euroopas on väga populaarne kasvatustes anda granuleeritud kalasööta, kuid majanduslikust seisukohast on see enamjaolt piiratud, kuna suure osa vesiviljeluse kogukuludest moodustabki sööt (Kozák *et al.* 2015; Yta *et al.* 2012). Intensiivkultuuri arengut on pidurdanud tasakaalustatud vähisööda puudumine. Vähid söövad meelsasti kunstlikku toitu ja sobiva sööda korral on neil hea kasv, kuid kunstliku sööda andmisel peab arvestama, et see peaks asendama täielikult looduslikku toitu. Ainuüksi sööda koostis ei ole kunstliku sööda juures kõige olulisem vaid ka selle vastupidavus lagunemisele, mistõttu peab sööt sisaldama siduvat materjali, et see vees lagunema ei hakkaks (Kozák *et al.* 2015).

Söötmine on elutsükli jooksul üks olulisi tegureid ja erinevad söötmisrežiimid võivad mõjutada mõningaid parameetreid, näiteks vähkide juurdekasvu, ellujäämust ja kestumist. Optimaalne söötmise sagedus parandab kasvu efektiivsust ja ellujäämismäära ning vähendab söötmiskulusid ja söödaga seotud jäätmeid (Karadal, Türkmen 2018). Oluline on ka mitu korda päevas sööta antakse, et kasv oleks maksimaalne, tuleks noorjärkudele sööta anda kaks korda päevas. Noorvähki peaks esimesel eluaastal söötma *ad libitum* ehk nii palju, kui nad soovivad ja äsja koorunud vähkidele tuleks sööta anda kaheksa korda päevas 10% kehakaalust (Kozák *et al.* 2015; Mazlum *et al.* 2011)

1.3.2. Toitainete vajadus

Proteiin

Proteiinide sisaldus vähisöödas peaks varieeruma 25-30% vahel, kuna proteiin on asendamatu energia ja aminohappe allikaks. Vähkidele on oluline toituda kõrge energiasisaldusega söödast, kuna see aitab säilitada keha põhifunktsioone ja kindlustab kiire kasvu. Lisaks mõjutab energia vähkide suguküpsust, viljakust, edukat paljunemist ja konkurentsivõimet. Peamiselt on kommertssöötades kasutatud proteiiniallikana kala- ja sojajahu (Kozák *et al.* 2015). Kalajahu on kõige kallim komponent söödas ning kulude vähendamiseks ja keskkonnasõbralikkuse tagamiseks peaks tulevikus asendada kalajahu alternatiivsete valguallikatega (Yte *et al.* 2012).

Rasvad

Söödas on sobilik rasvasisaldus 0,1-3% juhul, kui sööt sisaldab lisaks stereoole ja polüküllastumata rasvhappeid (nt linoolhape), samas noorvähkidel peaks sööt sisaldama 1-4% rasva. Liiga kõrge rasvasisaldus (>10%) mõjub vähkidele negatiivselt ning võib kasvu pidurdada. Väga oluline on tagada söödas optimaalne rasvade ja valgu suhe, mis varieerub 27-37 mg.MJ⁻¹ (Kozák *et al.* 2015).

Sahhariidid, astaksantiin ja vitamiinid

Vähkide heaks kasvuks kasutatakse söötades ligikaudu 25% sahhariide, mille allikateks võivad olla teised lahustuvad polüsahhariidid, mida kasutatakse samuti energiaallikana. Astaksantiin on vähkidele asendamatu ning selle puudumine põhjustab kasvu pidurdamist ning välisskeleti värvi muutust. Oluline on söödale lisada vitamiine, nagu näiteks C-vitamiini, mis suurendab vähkide kasvukiirust (Kozák *et al.* 2015).

1.4. Vähi noorjärkudega läbi viidud söödakatsed

Euroopas on vähi söötmiskatseid läbi viidud põhiliselt nelja vähiliigiga - jõevähi, signaalvähi (*Pacifastacus leniusculus*), kitsasõralise vähi (*Astacus leptodactylus*) ja punase soovähiga (*Procambarus clarkii*) (Ackefors 2000). Lisaks on söötmiskatseid laialdaselt läbi viidud ka

punasõrg-lõunavähiga (*Cherax quadricarinatus*), kuna selle liigi tootmine kasvandustes on viimase paarikümne aasta jooksul märkimisväärselt suurenenud (Gutierrez, Rodriguez 2010). Alates 2015. aastast on Euroopas signaalvähi ja punase soovähi, kui loodust ohustavate liikide, kasvatamine keelatud (EL määrus nr 1143/2014).

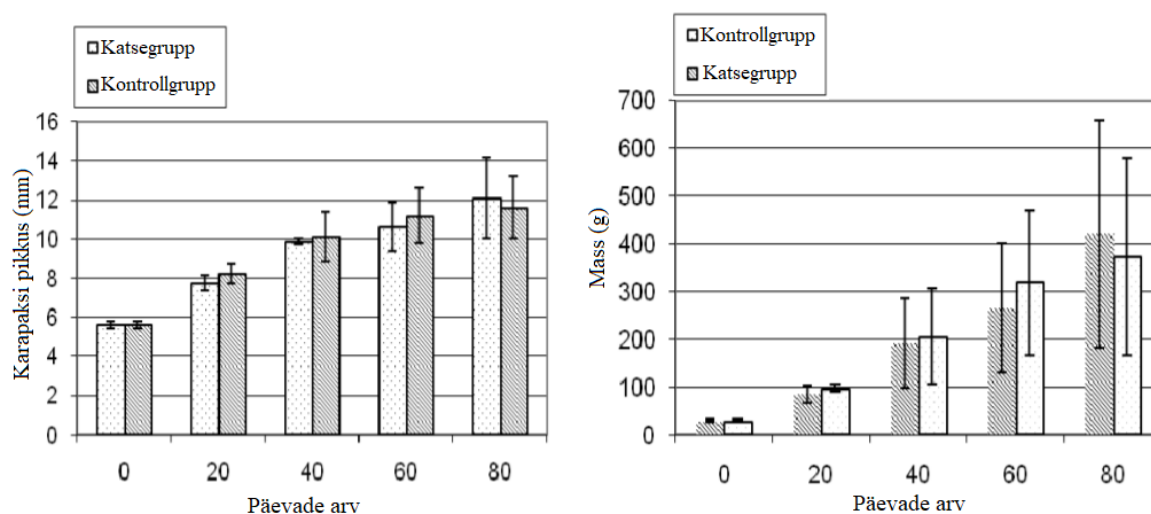
Seemann *et al.* (2014) katse kestis 60 päeva ning uurimuses kasutati jõevähi noorjärke, kes paigutati RAS süsteemi (28 vähki/m²), mis oli jagatud kolmes korduses kolme gruppi RAS LOW (3%), RAS MED (4%) ja RAS HI (5%), kõigile kolmele grupile anti karpkala sööta, kuid erineva söödanormiga. Karpkala sööt sisaldas 25% valku, 6,8% rasva, 6,4% toorkiudu, 6,9% tuhka ning 1% kaltsiumit. Võrdluskatsena paigutati vähid avatud tiikidesse (seitse vähki/m²), kus toidubaas oli looduslik. Katset alustati vähkide keskmise kaaluga 4,60±2,71 g ja keskmise pikkusega 5,3±0,8 cm. Seemann *et al.* (2014) katses ei erinenud RAS katsete lõpp-pikkused oluliselt üksteisest, kuid avatud tiigi katse vähkide lõpp-pikkus oli palju suurem (~1 cm), kui RAS katsegruppides. Samuti ei erinenud RAS katses lõpp-kaalud üksteisest, kuid avatud tiigis oli kaalutõus palju suurem (~3 g), kui RAS katsegruppides (tabel 2).

Tabel 2. Seeman *et al.* (2015) nelja erineva katsegrupi vähkide keskmised pikkused (cm) ja massid (g)

Katsegrupp	RAS LOW (3%)	RAS MED (4%)	RAS HI (5%)	Avatud tiik
Vähkide keskmine pikkus (cm)	5.8±0.8	5.9±0.9	5.9±0.8	6.7±0.8
Vähkide keskmine mass (g)	6.64±3.41	6.68±3.68	7.00±3.24	9.74±3.85

Erol *et al.* (2017) katse viidi läbi kitsasõraliste noorvähkidega, kus kasutati söötadeks elussööta (*Daphnia magna*), mille proteiinisaldus oli 42,05% ja rasvasisaldus 16,2% ja vikerforelli kommertssööta, mille proteiinisaldus oli 55% ja rasvasisaldus 13%. Katse alguses oli noorvähkide keskmine mass 35 ± 0,005 mg, täispikkus 11,67 ± 0,47 mm ja karapaksi pikkus 5,87 ± 0,35 mm. Katse lõppedes ehk 90 päeva hiljem oli noorvähkide kaal 367-653 mg, täispikkus 23,71-28,68 mm ja karapaksi pikkus 12,24-14,70 mm. Suurem kasvumäär oli forellisööda grupis (3,22% ja 3,07%) ning madalam elussööda grupis (2,64% ja 2,61%) ehk forellisöödaga söödetud jõevähkide noorjärkudel oli parem kasvutempo kui elussöödaga.

Carral *et al.* (2011) katse viidi läbi signaalvähi noorjärkudega. Katses kasutati kontrollsöödaks granuleeritud forellisööta, milles proteiini 54%, rasva 18% ja tuhka 12%. Teiseks katsegrupiks valmistati kirjanduse põhjal optimaalsete toitainete sisaldusega sööt, milles proteiini 50,22%, rasva 12,14%, tuhka 13,24%. Katse alguses ja lõpus vähid kaaluti ning mõõdeti karapaksi pikkused. Katse vältel oli nii karapaksi pikkus, kui ka mass suuremad kontrollgrupis, kuid 80 päeval olid mõlemad parameetrid suuremad katsegrupis (joonis 4), kuid olulist erinevust kontroll- ja katsegrupis katse lõpuks ei olnud.



Joonis 4. Karapaksi pikkuse ja massi juurdekasv katse vältel kontroll ja katsegruppides (Carral *et al.* 2011).

Cortes-Jacinto *et al.* (2004) viis läbi kaks katset, kus esimeses anti punasõrg-lõunavähi noorjärkudele (1.08 ± 0.34 g) seitsme erineva proteiinisaldusega sööta (20%, 25%, 31%, 37%, 43%, 49%, 55%) ning teises katses täiskasvanud vähkidele (isased 23.3 ± 0.58 g; emased 21.7 ± 0.33 g) viie erineva proteiinisaldusega sööta (22%, 27%, 33%, 39%, 45%). Uurimuses selgus, et noorvähid ja täiskasvanud vähid vajavad optimaalseks kasvuks erineva proteiinisaldusega sööta. Katsest tuli välja, et noorvähid vajavad paremaks kasvuks suurema proteiinisaldusega sööta (31%), samas kui täiskasvanud vähkidele sobib väiksema proteiinisaldusega sööt (22%).

Samuti viidi läbi uuring Miao *et al.* (2020) katses, kus hinnati erineva proteiinisaldusega söötade mõju juurdekasvule. Katse viidi läbi punase soovähi noorjärkudega (5.17 ± 0.32 g) ning neile anti neljas korduses, kuue erineva proteiinisaldusega söötasid (6 %, 28 %, 30 %, 32 %, 34 %, 36 %).

32 %, 34 %). Tulemused näitasid, et vähkidel, keda söödeti 32% ja 34% proteiinisaldusega söödaga, oli lõplik kaal (21,5 g), juurdekasvu määr (324%) ja spetsiifiline kasvukiirus (2,58%) oluliselt suurem kui 26% ja 28% proteiinisaldusega söödal ($p < 0,05$), kus lõplik kaal oli ~18 g, juurdekasvu määr 257% ja spetsiifiline kasvukiirus 2,27% (Miao *et al.* 2020).

1.5. Vähkide kasvu mõjutavad tegurid

1.5.1. Veeparameetrid

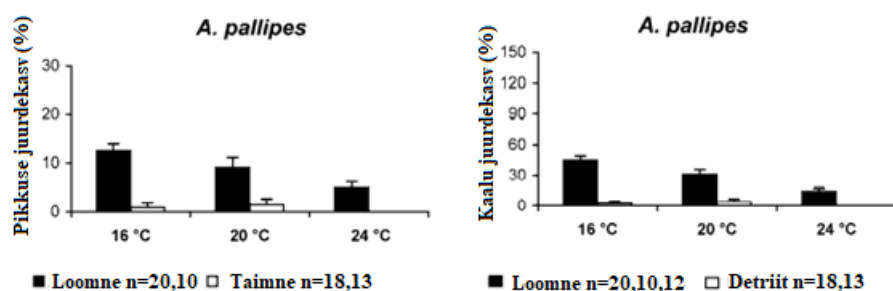
Peamisteks kasvu mõjutavateks teguriteks on veetemperatuur ja hapnikusisaldus, mis võivad mõjutada vähkide füsioloogilist seisundit, mistõttu toitumine häirub ning toidu tarbimise efektiivsus väheneb (Mazlum 2007a). Ainevahetuse kiirus sõltub temperatuurist ning on soojematel temperatuuridel kiirem ning madalamatel temperatuuridel aeglasem. Soojematel temperatuuridel on kestumissagedus tihedam ning seetõttu kasv kiirem (Zimmerman 2009; Kozák *et al.* 2015). Kõrgem hapnikusisaldus suurendab söömisaktiivsust ja läbi selle suureneb kasv, madala hapnikusisalduse korral söömisaktiivsus langeb ja kestumissagedus väheneb (Kozák *et al.* 2015).

1.5.2. Valgusrežiim

Samuti mõjutab vähkide kasvu ka valgus, täpsemalt valgusperioodi pikkus. Looduslikes tingimustes peidavad vähid end sageli pimedatesse kohtadesse, kuid Abeel *et al.* (2016) katses selgus, et külma, neutraalse või sooja valgusega keskkond ei mõjutanud nende vähkide käitumist, kes eelistavad pimedamat elukeskkonda. Siiski selgus aga, et nõrga valguse korral olid vähid palju aktiivsemad toidu otsijad, mis omakorda mõjutab kasvu (Abeel *et al.* 2016). Üldiselt on teada, et kestumissagedus suureneb, kui päevane valgustatus on pikem, samas liigne valgustatus ning pimedus mõjuvad vähkidele pigem negatiivselt (Kozák *et al.* 2015).

1.5.3. Toitumine

Üheks kasvu mõjutavaks teguriks on ka toitumine. Vähid on kannibalid ning varasemas kirjanduses on välja toodud, et detriidil põhinev toitumine annab ellujäämiseks küll energiat, kuid ei anna häid tulemusi vähkide juurdekasvul (Paglianti, Gherardi 2004). Kasvukiirust reguleerivad toidu kättesaadavus ja toidu kvaliteet, kus kiirem kasv saavutatakse kõrgema proteiinisaldusega söödaga (Zimmerman 2009). Paglianti, Gherardi (2004) valgesõralise vähi (*Austropotamobius pallipes*) peal läbi viidud katse kinnitab, et loomisel toidul olevate vähkide kasv oli kiirem kui detriidil või taimsel söödal olevate vähkide kasv (joonis 5). Samuti on antud töös välja toodud, et vähkide maksimaalne kasvukiirus saavutatakse, kui sööt sisaldab 15-20% proteiini (Paglianti, Gherardi 2004).



Joonis 5. Valgesõralise vähi (*Austropotamobius pallipes*) pikkuse ja massi juurdekasv loomisel-, taimsel- ja detriidisöödal (Paglianti ja Gherardi 2004).

1.5.4. Asustustihedus

Lisaks mõjutab vähkide kasvu tugevalt asustustihedus. Suure asustustiheduse korral halveneb veekvaliteet ning vähkidel ei ole piisavalt ruumi, mis omakorda tekitab vähkidele stressi. Mazlum (2007b) katse viidi läbi kolme asustustiheduse juures vastavalt 50, 100 ja 200 vähki/m². Noorvähid paigutati plastmahutites suurusega 0,6 x 0,16 x 0,24 m. Selgus, et suurema asustustihedusega elanud vähid viibisid palju suurema osa ajast varjepaikades, kui need vähid, kes elasid väiksema asustustihedusega mahutites. Antud katse tulemustest selgus, et asustustihedusel 50 vähki/m² elanud vähkide lõpp-pikkus, mass ja ellujäämus olid suuremad kui 100 ja 200 vähki/m²-l elanud vähkidel (tabel 3). Suurema asustustiheduse

korral võib varjepaikade olemasolu oluliselt vähendada negatiivset mõju vähkide käitumisele (Mazlum 2007b). Noorvähkidele on optimaalseks kasvuks vajalik tagada piisavas koguses varjepaiku (Kozák *et al.* 2015).

Tabel 3. Kitsasõralise vähi juurdekasv, ellujäämus ja toodang erinevatel asustustihedustel (Mazlum 2007b)

Asustustihedus	Lõpp-pikkus (mm)	Lõpp kaal (g)	Ellujäämus (%)	Toodang (gr)
50	36,4±0,29	1,26±0,06	85,4±12,2	29,71±0,5
100	35,5±0,53	1,16±0,25	73,8±9,1	46,65±8,6
200	33,3±0,33	0,91±0,12	61,0±5,2	54,16±5,4

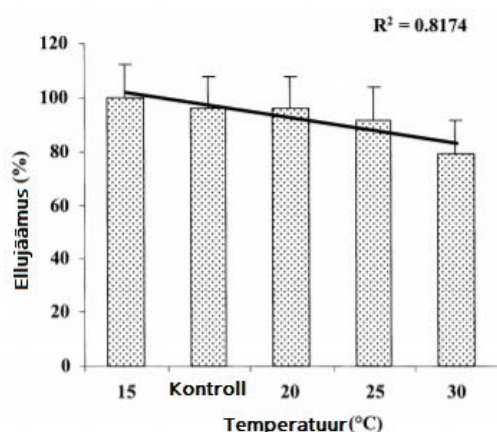
Suur asustustihedus tuleb kasuks ainult sellisel juhul, kui soovitakse saavutada suurt toodangut. Mazlum (2007b) katses selgus, et asustustihedusel 200 vähki/m² oli toodang kõige suurem (54,16 ± 5,4 gr) (Mazlum 2007b).

1.6. Vähkide suremust mõjutavad tegurid kasvatustingimustes

Vähkide suremust mõjutavad mitmed abiootilised ja biootilised tegurid, sealhulgas veetemperatuur, veekvaliteet, elupaikade struktuur, füüsilised häired, haigused, konkurents ja kisklus (Reynolds, Souty-Grosset 2012).

Lahustunud hapnik on kõige olulisem ja vähene hapnik võib otseselt või kaudselt põhjustada tiikides olevate vähkide surma rohkem kui ükski teine tegur. Peamiselt mõjutab madal temperatuur noorvähkide ja marja ellujäämust, kuna täiskasvanud vähid taluvad üsna hästi madalat hapnikutaset. Lisaks ronivad täiskasvanud vähid maismaale kõrgema hapnikusisalduse tõttu. Temperatuuril on suur mõju tiikide hapnikusisaldusele, kuna külmas vees on hapnikku rohkem kui soojas vees. Soojema temperatuuri korral tõuseb bioloogiline aktiivsus, mistõttu tarbitakse hapnikku rohkem ja kiiremini. Kui veetemperatuur tõuseb üle 20 kraadi, kahekordistub hapnikukadu, mida põhjustab taimede lagunemisest (McClain *et al.* 2007).

Veetemperatuur on samuti üks olulisemaid parameetreid, mis mõjutab mageveevähkide ellujäämist. Kitsasõralise vähi peal läbi viidud katses selgus, et temperatuuri tõustes langes vähkide ellujäämus märkimisväärselt. Kõrgeim ellujäämus (100%) oli veetemperatuuril 15 °C ning üle 15 °C hakkas ellujäämus järk-järgult langema, kus 20 °C juures oli ellujäämus 95,8%, 25 °C juures 91,6% ning 30 °C juures 79,2 % (joonis 6). Kõige rohkem esines suremust kahe esimese nädala jooksul, kus keskmine suremus oli 16,3 % (Hesni *et al.* 2009).



Joonis 6. Vähkide ellujäämus erinevatel temperatuuridel (Hesni *et al.* 2009).

Lisaks on palju uuritud pH mõju vähkide ellujäämusele, mis on näidanud vähkide suurt suremust madalatel väärtustel. Peamised tegurid, mis vähendavad ellujäämist madalatel pH väärtustel on keha sisemine pH ja ionide tasakaalustamatus, hapniku transpordi katkemine, liigne ionide väljavool/sissevool ja kaltsiumi omastamine kestumisel. Lisaks suurendab kõrge pH teiste ionide, näiteks ammooniumi toksilisust ning võib süvendada parasiitide mõju vähkide ellujäämusele (Haddaway *et al.* 2013).

Paljud läbiviidud katsed viitavad vähkide kõrge ammooniumitaseme talumatusele, kuna see ioon on veeorganismidele toksiline. Vähid ei pruugi olla tundlikud ainult ammooniumi suhtes, vaid ammooniumi, nitraadi ja nitriti koosmõjule. Peamiseks ammooniumi ja nitraadi allikaks peetakse pinnase äravoolu ehk põllumajanduses kasutatavad väetised ja mädanenud lehtede praht kantakse ülejutustega tiikidesse. Nitraat on veeorganismidele vähem toksiline kui ammoniaak või nitrit, kuid sellegipoolest on nitraatide kõrge kontsentratsioon (10 mg/l) veeorganismidele ohtlik (Haddaway *et al.* 2015).

Veel mõjutab vähkide ellujäämist varjupaikade olemasolu. Saez-Royuela *et al.* (2002) katse viidi läbi valgesõralise vähi peal, kus hinnati varjupaikade mõju ellujäämusele. Katse kestis 80 päeva ning varjupaikadena kasutati PVC torusid ja kiudtsemendi lehti. Tulemustest selgus, et esimesel 40 päeval olid ellujäämusmäärad sarnased, kuid viimasel 40 päeval oli suremus suurem grupis, kus kasutati PVC torusid. Seda ilmselt seetõttu, et PVC torud pakuvad varjet üksikutele vähkidele ning võitlus varjupaikade pärast suurendab agressiivset käitumist ja kannibalismi (Saez-Royuela *et al.* 2002).

Suure asustustiheduse korral on vähkidel suurem kontakt ja konkurents, mille tõttu suureneb omakorda agressiivsus ja kannibalism. Selle tulemusel aga vähid võitlevad omavahel ning suureneb vähkide jäsemete vigastuste ja hukkumiste arv. Oluline on vähendada sõrgade vigastuste esinemist, kuna sõra kaotanud vähid on väiksemad ning kannibalismile vastuvõtlikumad, mistõttu suureneb suremus (Mazlum 2007b). Mazlum (2007b) katses kasutatud kitsasõralised vähid hoiti asustustihedustel 50 vähki/m², kus ellujäämus oli 85,4%, 100 vähki/m², kus ellujäämus oli 73,8% ning 200 vähki/m², kus ellujäämus oli 61% ehk asustustiheduse suurenemisega langes ellujäämus ning suurenes vähkide arv, kellel esines sõrgade vigastusi (Mazlum 2007b). Ulikowski *et al.* (2006) katses kasvatati vähki kahel asustustihedusel (600 vähki/m²; 1,200 vähki/m²) ning mõlemal juhul jäid ellujäämused alla 50%, kuid tulemused olid paremad väiksemal asustustihedusel. Lisaks on öeldud, et suremust esines esimesel 30 päeval kõige rohkem ning peale 30 päeva hakkas suremus vähenema (Ulikowski *et al.* 2006).

Vähikatku põhjustav patogeenne oomütseet *Aphanomyces astaci* on laastanud paljusid Euroopa kohalikke mageveevähi populatsioone. Ohtlik on ta populatsioonidele seetõttu, et nakatunud vähkide suremus on peaaegu 100% ning vähid surevad 6-10 päeva jooksul. Põhilisteks katku edasikandijateks on Euroopasse toodud Põhja-Ameerika vähiliigid, kes ise on haiguse suhtes resistentsed (Dieguez-Uribeondo *et al.* 1997). Vähikatk ohustab kõiki vähikasvandusi, välja arvatud juhul, kui kasutatakse ohutut veevarustust nagu allikad ja põhjavesi. Võõrliikide olemasolul jõgedes, kust vett tiikidesse võetakse, on suur tõenäosus, et kasvanduses elavad vähid lõpuks nakatuvad (Oidtmann *et al.* 1999).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Katsetingimused

Söötmisskatse viidi läbi ajavahemikul 19.06.2019-15.10.2020 (2019 1- aastased; 2020 2-aastased) RMK Põlula kalakasvatusteskeskuses.

10. oktoobril 2018 toodi Härjanurme Kalatalust ~1500 samasuvist (0+) vähipoega ja peeti ületalve võrkaiaga kaitstud ja nõrga läbivooluga betoonbasseinis (3x18 m) (joonis 7).



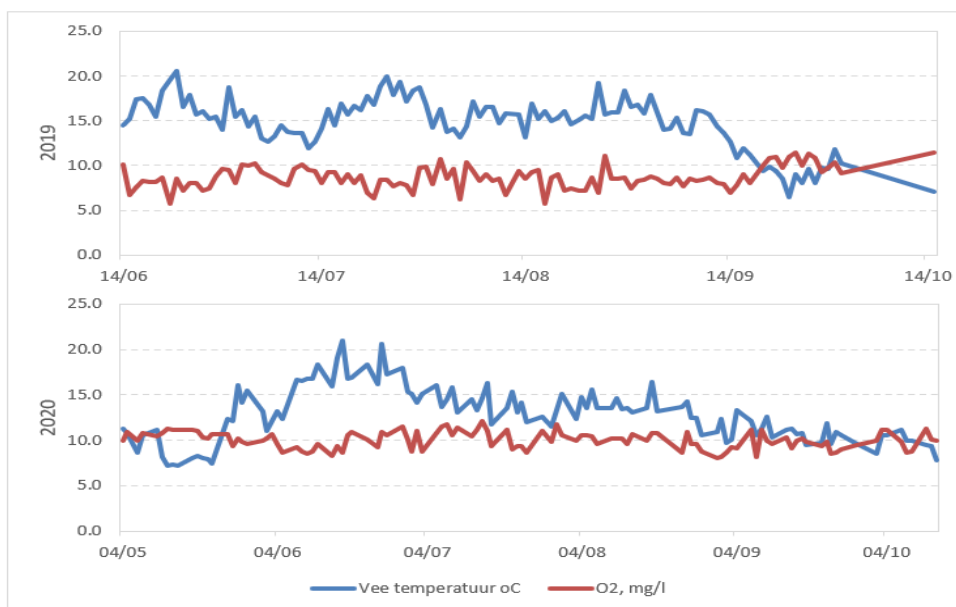
Joonis 7. Samasuviste vähipoegade talvitustiik RMK Põlula kalakasvatusteskeskuses.

2019. aasta kevadel ehitati söötmisskatse läbiviimiseks sobivad sumbad (18 tk) mõõtmetega 2.15 X 0,8 X 0,5 m (põhjapind 1,5 m²), mis paigutati läbivooluga betoonbasseini (joonis 8). Tiigi läbivool oli minimaalne ning vett lisati juurde vaid aurustumise kao jagu kuna vesi tuleb Lavi ohvriallikast, mille veetemperatuur oleks pideva läbivoolu korral vähekide kasvukuks liiga madal.



Joonis 8. 18 sumbaga katsetiik ja katsesump.

Veetemperatuuri, hapnikusisaldust ja –küllastust mõõdeti söötmisperioodi jooksul üks kord päevas. 2019. a katse jooksul varieerus veetemperatuur 6,5-20,5 °C vahel, keskmine veetemperatuur oli $14,8 \pm 2,9$ °C. Keskmine hapnikusisaldus katse vältel oli $8,7 \pm 1,23$ mg/l. Hapnikusisaldus varieerus 5,7-11,5 mg/l vahel (joonis 9). 2020. a katse jooksul varieerus temperatuur 7,2-21 °C, keskmine veetemperatuur oli $12,7 \pm 3,04$ °C. Keskmine hapnikusisaldus katse vältel oli 10 ± 1 mg/l ning varieerus katse vältel 6,4-12,1 mg/l.



Joonis 9. 2019. a 1- aastaste ja 2020. a 2- aastaste söötmiskatse veetemperatuur ja hapnikusisaldus.

2.2. Katse läbiviimine 2019. a suvel 1- aastaste vähkidega

1- aastaste vähkide 2019. a söötmiskatse kestis ajavahemikust 19. juuni - 15. okt (119 päeva). 14. ja 19. juunil 2019 asustati talvitustiigis olnud 1- aastastest vähkidest 540 tk 18-sse katsesumpas, igasse 30 isendit (asustustihedus 20 vähki/m²). Igas katsegrupis oli kuus kordust, mis olid jaotatud sumpadesse juhuslikult joonisel 10 toodud skeemi alusel.

⊕ 12	⊕ 11	⊖ 18
⊖ 17	○ 6	⊖ 16
⊕ 10	⊖ 15	○ 5
○ 4	⊖ 14	⊕ 9
○ 3	⊖ 13	⊕ 8
○ 2	⊕ 7	○ 1

Joonis 10. Katsegruppide paiknemine sumpades. + Economy söödagrupp, - Gold söödagrupp ja O Carp söödagrupp.

Katse alguses vähid loendati ja kaaluti katsesumpade kaupa (tabel 4). Pikkuse mõõtmiseks olid vähid katse alguses liiga väikesed, aga keskmiselt ~ 20 mm pikkused. Esimese aasta söötmiskatse lõpus (15. oktoober 2019) vähid loendati, määrati sugu ning puuduvate ja taastuvate jäsemetega isendite arv, kaaluti ning mõõdeti (täispikkus, karapaksi pikkus) individuaalselt. Pärast mõõtmisi pandi vähid samadesse sumpadesse talvitumisperioodiks tagasi.

Tabel 4. Katsegruppide keskmine mass ja standardhälve (\pm SD) katse alguses.

	Carp	Economy	Gold
Keskmine mass (g)	0.42 ± 0.02	0.40 ± 0.02	0.38 ± 0.04

Katseperioodi jooksul söödeti vähke kolme erineva söödaga (tabel 6) üks kord päevas seitse päeva nädalas. Söödanormiks arvestati ~2% vähkide kehamassist (0,3 g sööta sumba kohta). Igapäevasel söötmisel jälgiti visuaalselt ka vähkide söömisaktiivsust sumpades.

Kommertssööta (Carp Aller Classic Vitamax, 2,0 mm), mida kasutavad vähikasvatajad, anti sumpades 1-6 (joonis 10). Projekti raames Sannio ülikoolis Itaalias välja töötatud Economy sööta anti sumpades 7-12 sumpades (joonis 10) ja Golden sööta anti sumpades 13-18 (joonis 10).

Talvitumisperioodil vähke ei söödetud. Talvise vähese toitumisaktiivsuse tõttu lisati sumpadesse mõned peotäied lepalehti.

2.3. Katse läbiviimine 2020. a suvel 2- aastaste vähkidega

2- aastaste vähkide 2020. a söötmiskatse kestis ajavahemikust 29. juuni - 15. okt (109 päeva). 7. mail 2020 hinnati vähkide talvitumist ning loendati ja mõõdeti vähid sama metoodika järgi kui 2019. aasta katses. 2- aastaste vähkide kasvuperioodiks jäeti katsesse kokku 288 vähki, igasse söödagruppi 96 vähki, 16 vähki sumbas, igas 8 emast ja 8 isast isendit (asustustihedus ~11 vähki/m²). 7. maist - 29. juunini 2020 söödeti kõiki katsegruppe Carp söödaga kuna COVID pandeemia tõttu ei jõudnud Economy ja Gold söödad õigeaks ajaks Itaaliast Eestisse. Kolme erineva söödaga jätkati alates 29. juunist.

Vähkide söötmisnorm, -režiim ja sumpade asetus oli sama, mis 2019. aasta katses, küll aga erinesid oma koostise poolest Economy ja Gold söödad, mille retsepte 2020. a katse jaoks muudeti (tabel 7). Karpkala sööt jäi samaks, mis 2019. aasta katses.

Tabelis 5. on välja toodud 2020. a katse alguse kasvuparameetrid nagu mass, täispikkus, karapaksi pikkus ja karapaksi laius.

Tabel 5. 2020. a kõikide katsegruppide emaste ja isaste vähkide kasvuparameetrid katse alguses

	Carp	Economy	Gold
Isased			
Mass (g)	2,12±0,61	1,99±0,70	1,98±0,63
Täispikkus (mm)	41,46±3,47	40,19±4,60	40,21±3,87
Karapaksi pikkus (mm)	20,62±1,80	20,05±2,28	20,10±1,95
Karapaksi laius (mm)	9,87±1,08	9,56±1,23	9,55±1,10
Emased			
Mass (g)	1,92±0,62	1,77±0,77	1,64±0,81
Täispikkus (mm)	40,09±3,92	38,54±4,60	37,77±5,57
Karapaksi pikkus (mm)	19,89±1,93	19,26±2,79	18,75±2,78
Karapaksi laius (mm)	9,56±1,14	9,11±1,47	8,88±1,47

2.4. Söötade koostis

Katses kasutatavate söötade koostised on toodud tabelis 6. Karpkala kommertssööt Carp Aller Classic Vitamax, 2,0 mm on seni Eesti vähikasvatajate seas praktiseeritud sööt ja kasutati nii ühe- kui kaheaastaste vähkide söötmiskatses. Projekti raames Sannio ülikoolis Itaalias välja töötatud Economy (soodsamate ja vähkide immuunsust tõstva polüfenoole sisaldava taimse söödakomponendiga) ja Gold (kallim) sööda retsepte sai 2020. aasta katse jaoks muudetud. Karpkala sööda komponentide täpset sisaldust söödas pole võimalik saada, mille tõttu on tabelis 6 söödakomponentide sisalduste taha märgitud ristike. Kui söödakomponenti söödas polnud lisati tabelisse miinus. Tabelis 6 välja toodud Itaalia söötade arvutuslikud proteiinide ja rasvade sisaldused erinevad EMÜ labori analüüsides (tabel 7), kuna mõte keemilisi analüüse teostada tuli üsna hilja. 2019. a sööda keemilised analüüsid tehti alles 2020. a veebruaris, kuid COVID-19 tõttu olid laborid suletud ning 2020. a Itaalia söödad viibisid. 2020. a Itaalia söödad saabusid alles juuni keskpaigas ning polnud võimalust keemilisi analüüse teha.

Tabel 6. 2019 ja 2020. a Gold, Economy ja Carp söötade koostis

Koostisosad	Gold 2019/20	Gold 2020/21	Economy 2019/20	Economy 2020/21	Carp Aller Classic Vitamax, 2 mm
	% söödas				
Kalajahu	5	5	5	5	X
Sojajahu	30	25	30	25	
Destilleerimisel tekkinud teravilja jäägid	5	5	5	5	X
Nisujahu	13	13	13	13	-
Kalmaari jahu	3	3	-	3	-
Maisijahu	7	-	10	-	-
Rapsiseemnejahu	6	-	6	-	X
Hüdroksütürosool	10	10	10	10	-
Hernejahu	10	14	10	14	-
Linaseemnejahu	4	4	4	4	-
Sulejahu	-	-	-	-	X
Linnujahu	-	-	-	-	X
Rapsiseemne õli	-	-	-	-	X
Soja	-	-	-	-	X
Päevalillevalgu kontsentraat	-	-	-	-	X
Tritikale	-	-	-	-	X
Askorbüülmonofosfaat	0.05	0.05	-	-	-
Maksajahu	-	1	-	1	-
Krevetijahu	-	5	-	5	-
Verejahu	-	6	-	6	-
Veretooted	-	-	-	-	X
Dikaltsiumfosfaat	1	-	2	-	-
Astaksantiin	0.1	0.1	-	-	-
Vitamiinide eelsegu ¹	1.9	2	1.9	2	X
Mineraalainete eelsegu ²	1.9	2	1.9	2	X
Nisugluteen	-	4.85	-	4.85	-
Nisu	-	-	-	-	X
Karboksümenetüütselluloos	2	-	2	-	-
Polüfenoolid	-	-	2.2	0.3	-
Proteiinid (arvutuslikud)	33	38.72	31	38.72	-
Rasvad (arvutuslikud)	4.35	8.57	4.25	8.57	-
¹ Vitamiini eelsegu sisaldab (mg kg - 1) E. 30; K. 3; tiamiin. 2; riboflaviin. 7; püridoksiin. 3; pantoteenhape. 18; niatsiin. 40; folatsiin. 1,5; koliin. 600; biotiin. 0,7 ja tsüanokobalamiin. 0,02. ² Mineraalne eelsegu sisaldab (mg kg - 1) Mg. 100; Zn. 60; Fe. 40; Cu. 5; Co 0,1; I 0,1; ja antioksidant (BHT). 100.					

Lisaks lasti määrata söötade keemiline koostis Weende analüüsiga EMÜ VLI sööda ja ainevahetuse uurimise laboris (tabel 7). Weende analüüs on söödas olevate makrotoitainete kvantitatiivne analüüsi meetod, millega määratakse söödas toorproteiin, toorrasv, toorkiud, toortuhk, niiskus ja lämmastikuvabad ekstraktid (seeditavad süsivesikud) (Ghent University... s. a.).

Tabel 7. EMÜ laboris tehtud Weende analüüs toitainete sisalduse kohta aastatel 2019 ja 2020

Weende analüüs EMÜ laboris	Gold	Gold	Economy	Economy	Carp Aller Classic Vitamax, 2 mm		
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	Tootja andmed
Kuivaine (%)	90.4	89.6	89.9	89.2	91.1	91.2	-
Toorproteiin (%)	29.7	39.1	28.4	38.7	33.4	33.9	30
Toortuhk (%)	7.5	7.7	7.5	7.7	6.6	6.5	6.5
Toorkiud (%)	3.2	2.2	3.8	3.4	4	6.9	5
Toorrasv (%)	10.5	13.3	10.8	12.2	7	7.2	7
N-ta e-a. (%)	49.1	37.7	49.5	38	49	45.5	43.5
Ca (g/kg)	15.9	14.2	14.7	13.6	7.6	7.7	-
P (g/kg)	9.8	10.5	10.4	10.3	12.4	12.5	1
Brutoenergia (MJ/kg)	20.5	19.5	20.5	19.7	20.1	20.3	18.2

2.5. Andmete analüüs

2019. a 1- aastaste vähkide ja 2020. a 2- aastaste vähkide katse tulemused on eraldi analüüsitud. Statistilises osas on emased ja isased eraldi analüüsitud, lisaks ei arvestatud juurdekasvude analüüsi sisse isendeid, kellel puudusid/taastusid jäsemed.

Suhteline juurdekasv protsentides leiti valemiga:

$$\text{Mõõdetava tunnuse suhteline juurdekasv (\%)} = [(tunnuse väärtus katse lõpul - tunnuse väärtus katse algul) / tunnuse väärtus katse algul] * 100$$

Graafikud koostati tabelarvutussüsteemiga Excel. Andmete analüüs teostati statistikatarkvara R abil, kus söötade mõju juurdekasvule hinnati dispersioonanalüüsiga (ANOVA), puuduvate või taastuvate jäsede seotust söödaga hinnati hii-ruut testiga ning söötade erinevusi võrreldi Tukey testiga.

3. TULEMUSED

3.1. 2019. a söötmiskatse 1- aastaste vähkidega

3.1.1. Juurdekasv

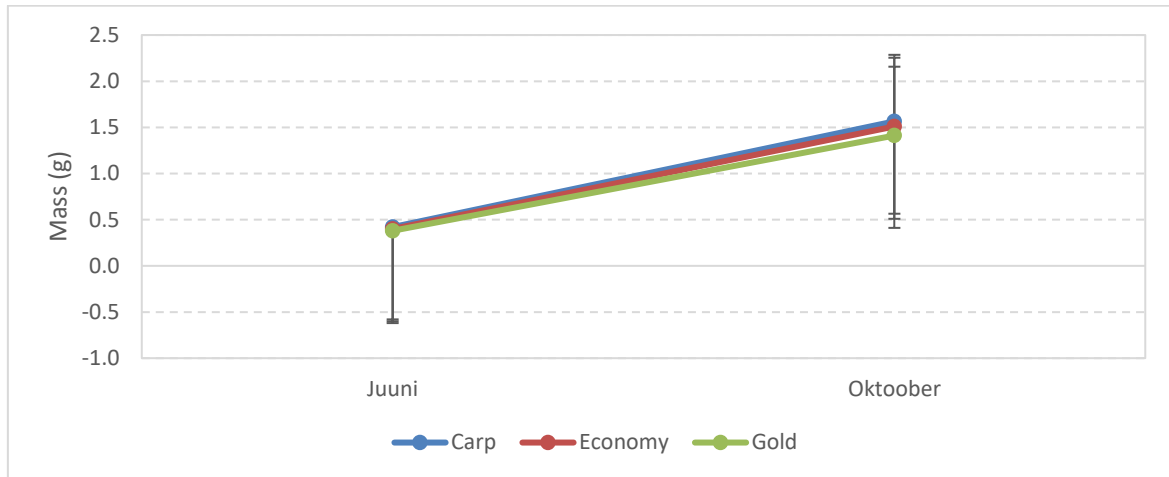
2019. a katse lõpu isaste ja emaste kasvuparameetrid nagu mass, täispikkus (TP), karapaksi pikkus (KP) ja karapaksi laius (KL), ellujäämus ning puuduvate ja taastuvate jäsemetega vähkide osakaal on välja toodud tabelis 8.

Tabel 8. 2019. a isaste ja emaste vähkide keskmised kasvuparameetrid kolmel erineval söödal katse lõpus oktoobris (\pm SD)

	Carp	Economy	Gold
Isendite arv (n)	155	141	149
Mass (g)	$1,6 \pm 0,7$	$1,5 \pm 0,7$	$1,4 \pm 0,7$
Täispikkus (mm)	$37,4 \pm 5,26$	$37,2 \pm 5,51$	$36,4 \pm 5,57$
Ellujäämus (%)	98	92	94
Isased			
Puuduvad/taastuvad jäsemed (%)	15,4	6,8	4,1
Mass (g)	$1,77 \pm 0,70$	$1,66 \pm 0,69$	$1,53 \pm 0,70$
Täispikkus (mm)	$39,3 \pm 4,45$	$38,5 \pm 4,86$	$37,6 \pm 4,73$
Karapaksi pikkus (mm)	$19,7 \pm 2,25$	$19,3 \pm 2,49$	$18,8 \pm 2,47$
Karapaksi laius (mm)	-	-	-
Emased			
Puuduvad/taastuvad jäsemed (%)	9,6	5,7	8,2
Mass (g)	$1,33 \pm 0,70$	$1,42 \pm 0,78$	$1,27 \pm 0,78$
Täispikkus (mm)	$36 \pm 5,36$	$36,4 \pm 6,05$	$34,9 \pm 6,19$
Karapaksi pikkus (mm)	$18 \pm 2,64$	$18,2 \pm 3,03$	$17,4 \pm 3,15$
Karapaksi laius (mm)	-	-	-

Massi juurdekasv

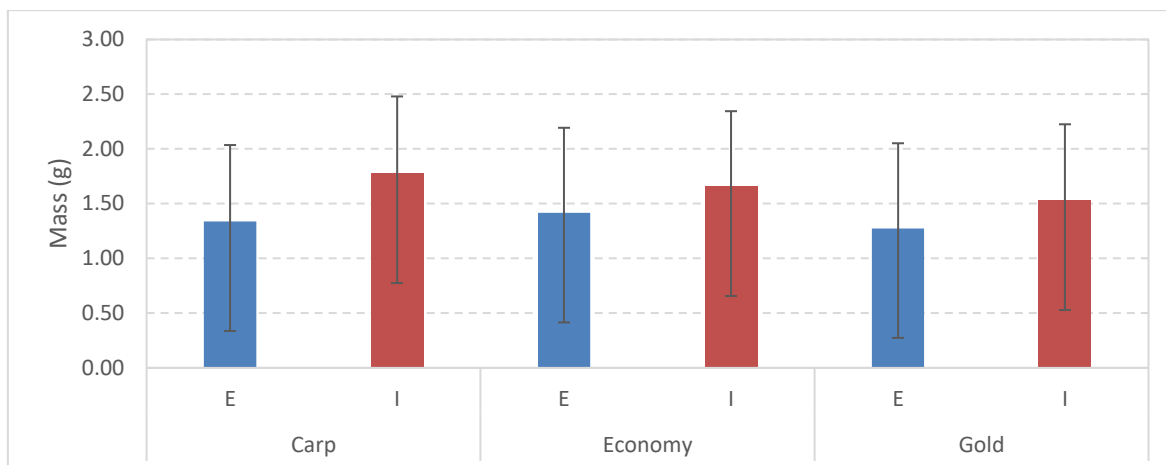
2019. a katse lõpus (oktoobris) oli suurim massi suhteline juurdekasv (300%) Carp katsegrupis ja väikseim juurdekasv (250%) Gold katsegrupis, Economy katsegrupi vähkide suhteline juurdekasv oli 275% (joonis 11, tabel 8). 2019. a söödagruppide ja massi juurdekasvude vahel olulist erinevust ei olnud ($p > 0,05$).



Joonis 11. 2019. a söötmiskatse 1- aastaste vähkide massi juurdekasv katsegruppide lõikes (\pm SD).

Emaste ja isaste vähkide kasvuerinevusi hinnates selgus, et kõikides söödagruppides oli isaste vähkide juurdekasv oluliselt suurem kui emastel ($p < 0,001$).

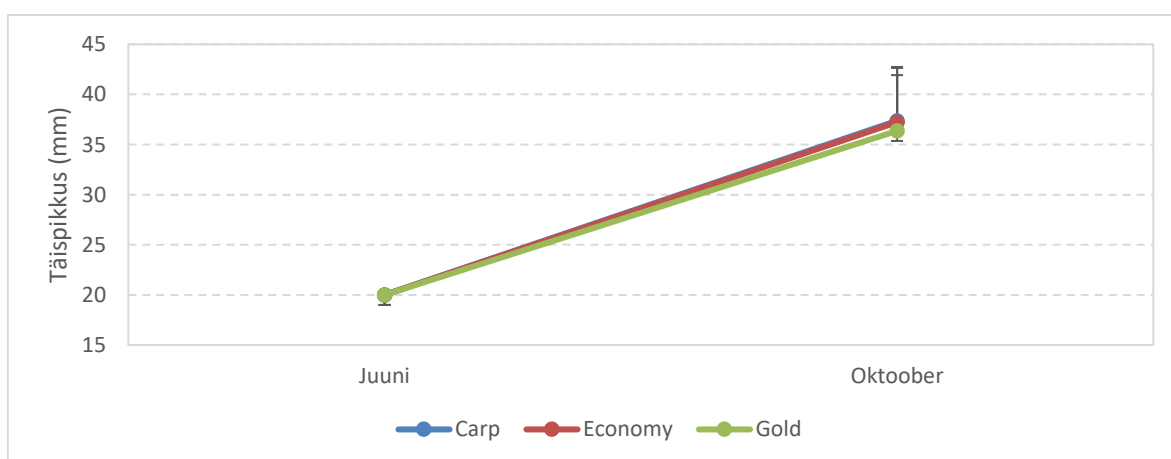
Carp katsegrupi vähkide suhteline massi juurdekasv oli isastel 343% ja emastel 233%, Economy katsegrupis oli isastel 314% ja emastel 255% ning Gold katsegrupis isastel 283% ja emastel 218%. Selgub, et isaste juurdekasv oli suurim Carp katsegrupis, kuid emaste juurdekasv oli kõige suurem Economy katsegrupis (joonis 12; tabel 8).



Joonis 12. 1- aastaste katsegrupi emaste (E) ja isaste (I) keskmised massid ja standardhälbed (\pm SD).

Täispikkuse juurdekasv

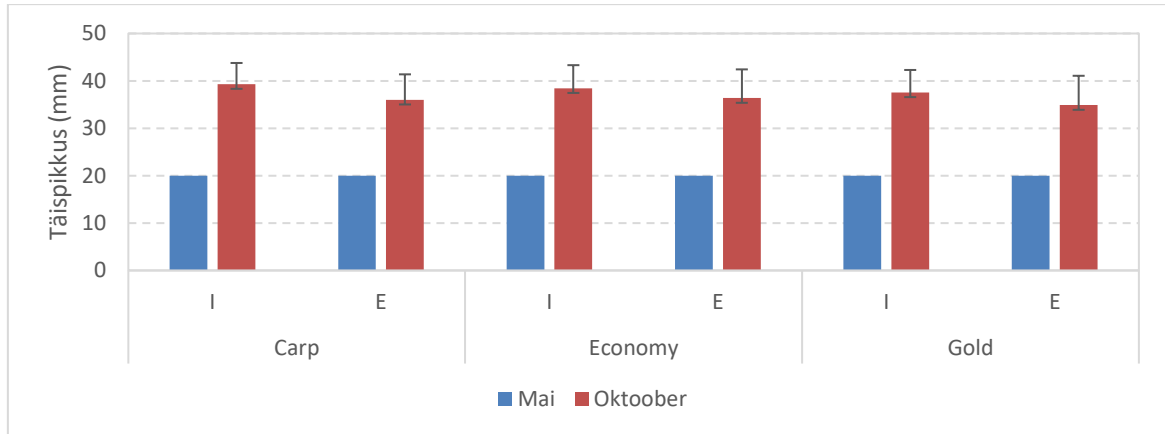
Katse lõpus oli suurim täispikkuse suhteline juurdekasv Carp katsegrupis (87%), millega üsna võrdne oli Economy katsegrupis suhteline juurdekasv (86%) ning kõige väiksem suhteline juurdekasv oli Gold katsegrupis (82%) (joonis 13; tabel 8). 2019. a söödagruppide ja täispikkuse juurdekasvude vahel olulist erinevust ei olnud ($p > 0,05$).



Joonis 13. 2019. a 1- aastaste vähkide täispikkuse juurdekasv katsegruppide lõikes (\pm SD).

Carp katsegrupi täispikkuste keskmine suhteline juurdekasv oli isastel 97% ja emastel 80%, Economy katsegrupis isastel aga 93% ja emastel 82% ning Gold katsegrupis isastel 88% ja

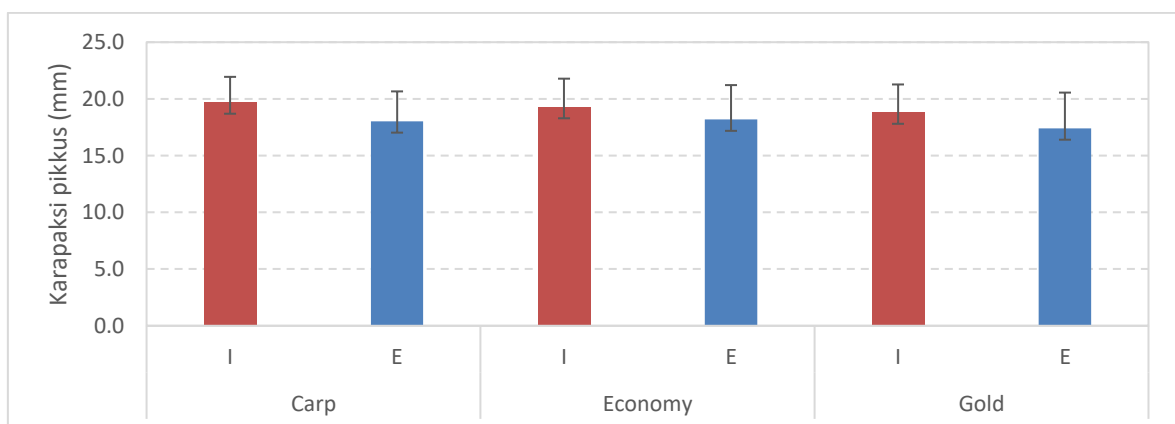
emastel 74%. Kõikides söödagruppides olid isaste vähkide täispikkused oluliselt suuremad kui emaste täispikkused ($p < 0,001$) (joonis 14; tabel 8).



Joonis 14. 2019. a 1- aastaste isaste (I) ja emaste (E) vähkide täispikkused mais ja oktoobris (\pm SD).

Karapaksi juurdekasv

Samuti, nagu täispikkuse puhul, ei olnud 2019. a söödagruppide ja karapaksi pikkuse juurdekasvude vahel olulist erinevust ($p > 0,05$). Küll aga erinesid emaste ja isaste vähkide karapaksi pikkuste juurdekasvud ($p < 0,001$). Karapaksi pikkused 2019. a oktoobris olid isastel suuremad kui emastel (joonis 15; tabel 8).

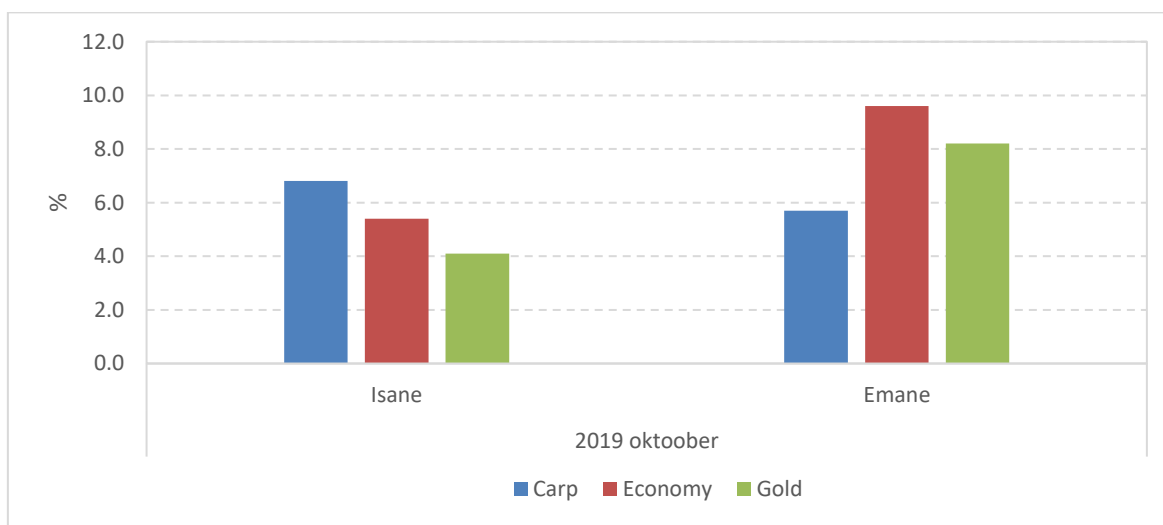


Joonis 15. 2019. a 1- aastaste emaste (E) ja isaste (I) vähkide keskmised karapaksi pikkused söödagruppides (\pm SD).

Üldiselt võib öelda, et veidi parem juurdekasv on katsegrupis Carp, väikseim juurdekasv aga Gold katsegrupis, kuid olulist erinevust söödagruppide vahel ei ole ($p > 0,05$).

3.1.2. Puuduvate ja taastuvate jäsümetega vähkide osakaal

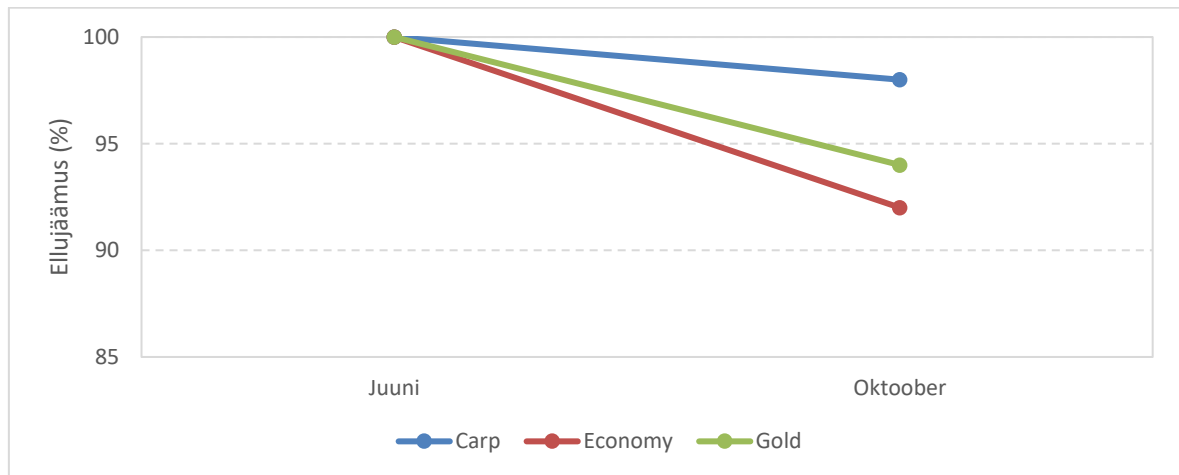
2019. a söötmiskatse lõpuks oli puuduvate ja taastuvate jäsümetega vähkide osakaal kõige suurem Economy katsegrupis, Carp ja Gold katsegrupis oli puuduvate ja taastuvate jäsümetega vähkide osakaal enam-vähem võrdne (joonis 16; tabel 8). Emastel on vigastuste osakaal oluliselt suurem (23,5%) kui isastel (16,3%). Lisaks on soo ning puuduvate ja taastuvate jäsümete vahel tugev statistiline seos ($p < 0,001$). Sööda ja vigastuste vahel ei ole statistiliselt olulist seost ($p > 0,05$).



Joonis 16. Puuduvate ja taastuvate jäsümetega vähkide osakaal katsegruppide ja sugude lõikes 2019 söötmiskatsetes.

3.1.3. Ellujäämus

Katse lõpus ehk oktoobris oli Carp katsegrupis ellujäämus kõige suurem ehk 98% (176 vähki), kõige väiksem ellujäämus oli Economy katsegrupis ehk 92% (166 vähki) ja Gold katsegrupis oli ellujäämus 94% (170 vähki) (joonis 17).



Joonis 17. 2019. a söötmiskatse vähkide ellujäämus (%) katse alguses ja katse lõpus katsegruppide lõikes.

2019. aastal ei mõjutanud sumpade asetus tiikides vähkide kasvu ja ellujäämust ($p > 0,05$).

3.2. 2020. a söötmiskatse 2- aastaste vähkidega

3.2.1. Juurdekasv

2020. a katse lõpu isaste ja emaste kasvuparameetrid nagu mass, täispikkus, karapaksi pikkus, karapaksi laius, ellujäämus ning puuduvate ja taastuvate jäsemetega vähkide osakaal on välja toodud tabelis 9.

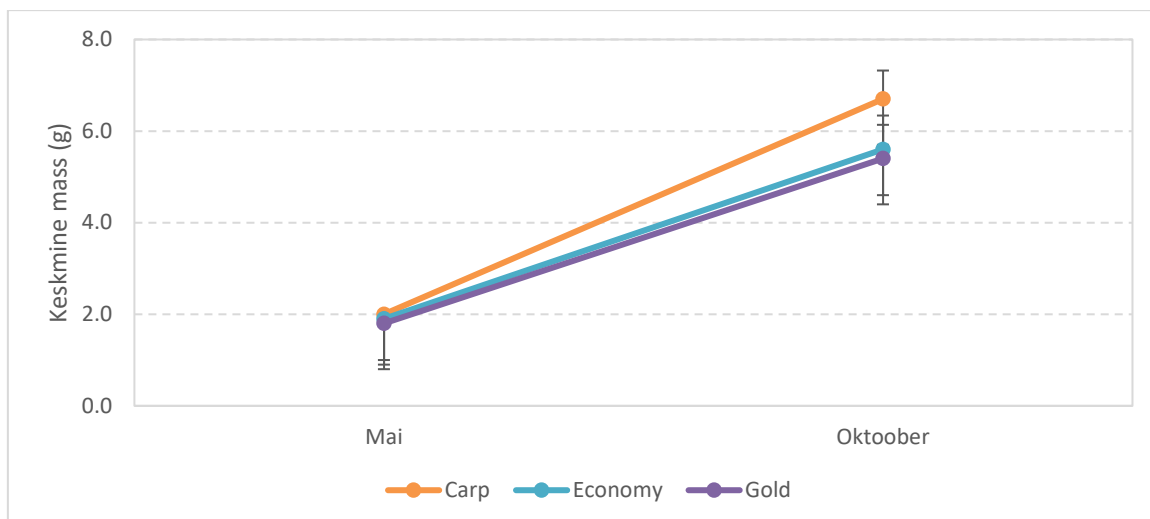
Tabel 9. 2020. a isaste ja emaste vähkide keskmised kasvuparameetrid kolmel erineval söödal katse lõpus oktoobris (\pm SD)

	Carp	Economy	Gold
Isendite arv (n)	96	97	94
Mass (g)	6,7 \pm 2,38	5,6 \pm 2,54	5,4 \pm 2,31
Täispikkus (mm)	57,8 \pm 6,42	55,2 \pm 8,32	54,5 \pm 7,30
Ellujäämus (%)	100	100	100
Isased			
Puuduvad/taastuvad jäsemed (%)	2	0	1
Mass (g)	7,2 \pm 2,41	6,61 \pm 2,47	6,17 \pm 2,14
Täispikkus (mm)	60,34 \pm 6,01	57,84 \pm 7,41	56,80 \pm 6,13
Karapaksi pikkus (mm)	30,73 \pm 3,19	29,41 \pm 3,95	29 \pm 3,25
Karapaksi laius (mm)	15,42 \pm 1,88	14,60 \pm 2,17	14,19 \pm 1,79
Emased			
Puuduvad/taastuvad jäsemed (%)	0	3	2
Mass (g)	5,6 \pm 1,90	4,90 \pm 2,23	4,57 \pm 2,09
Täispikkus (mm)	55,39 \pm 5,88	52,56 \pm 8,41	51,80 \pm 7,69
Karapaksi pikkus (mm)	27,96 \pm 3,03	26,48 \pm 4,33	26,06 \pm 3,90
Karapaksi laius (mm)	13,95 \pm 1,82	12,99 \pm 2,34	12,76 \pm 2,14

2020. a peale talvitumist oli Carp katsegrupis ellujäämus 96% (170 vähki), Economy katsegrupis 95% (160 vähki) ja Gold katsegrupis 98% (168 vähki). Vähendasime vähkide arvu katses 288 isendini, igasse katsegruppi 96 vähki asustustihedusega 11 vähki/m² ehk 16 vähki sumba kohta, igas 8 emast ja 8 isast vähki. Valituks osutusid tervemad vähid.

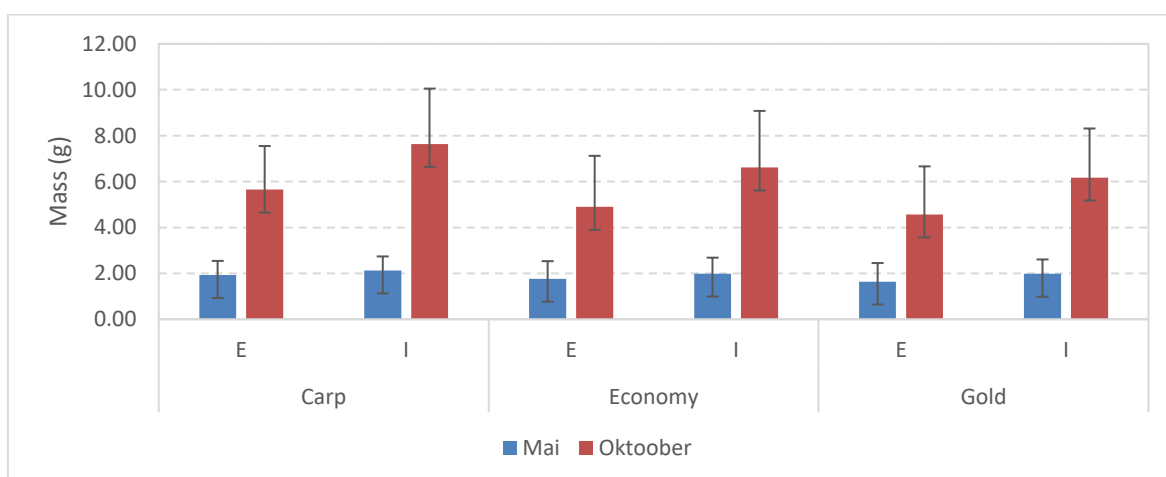
Massi juurdekasv

Teise kasvuperioodi lõpus (oktoobris) kaalusid Carp katsegrupi vähid oluliselt rohkem ($p < 0,05$) kui teiste söödagruppide vähid. Carp katsegrupi juurdekasv oli suurim (220%), Economy ja Gold katsegruppide juurdekasv oli võrdne (180%) (joonis 18; tabel 9).



Joonis 18. 2020. a söötmiskatse 2- aastaste vähkide massi juurdekasv katsegruppide lõikes (\pm SD)

2020. a söötmiskatse alguses oli samuti kõikide söödagruppide isaste vähkide keskmine mass ($2,0 \pm 0,65$ g) suurem kui emastel ($1,8 \pm 0,74$ g) (joonis 19; tabel 9). Suhteline massi juurdekasv Carp katsegrupis oli isastel 257% ja emastel 192%, Economy katsegrupis isastel 232% ja emastel 177% ning Gold katsegrupis isastel 213% ja emastel 180%. 2020. a söötmiskatse kõikides katsegruppides oli isaste vähkide juurdekasv oluliselt suurem kui emastel ($p < 0,001$).

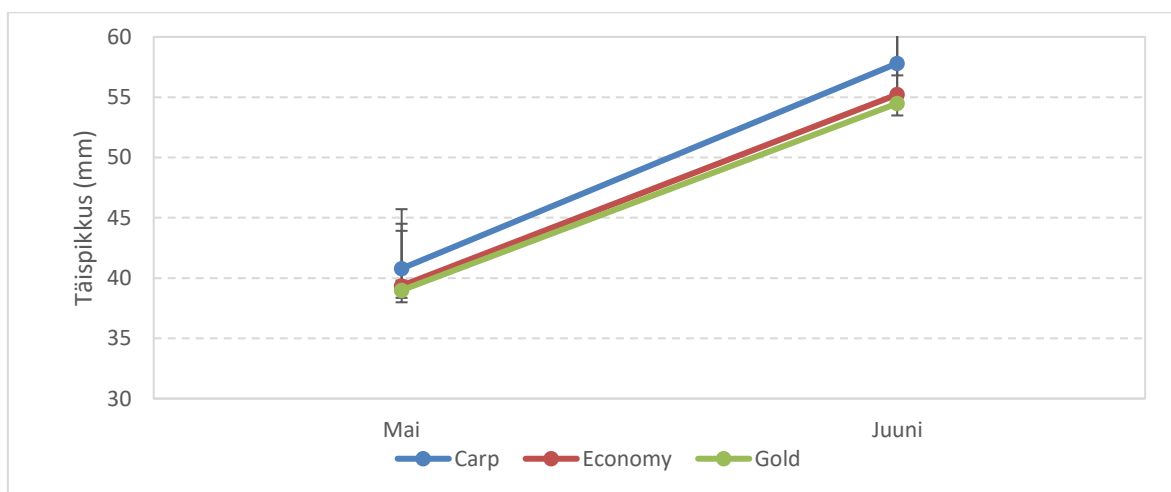


Joonis 19. 2020. a söötmiskatse 2- aastaste emaste (E) ja isaste (I) vähkide keskmised massid (g) ja standardhälbed katsegruppide kaupa.

Täispikkuse juurdekasv

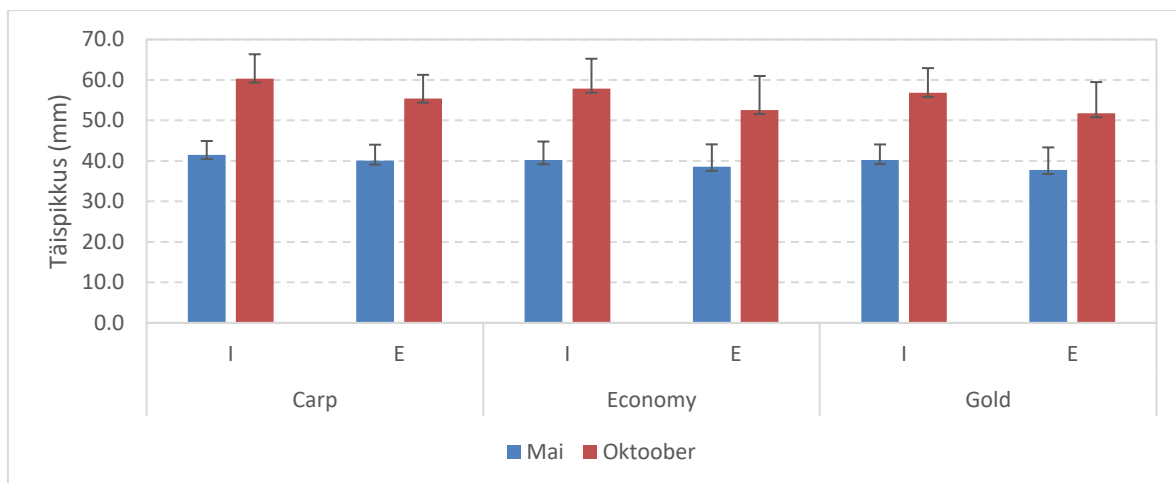
Katse lõpus oli suurim täispikkuse suhteline juurdekasv Carp katsegrupis (41,8%), Economy katsegrupis oli suhteline juurdekasv (40,3%) ning kõige väiksem suhteline juurdekasv oli Gold katsegrupis (39,8%) (joonis 20; tabel 9).

2020. aasta söötmiskatse lõpuks olid karpkala söödal olnud vähkide täispikkused oluliselt suuremad kui Gold ja Economy söödagrupi vähkidel ($p = 0,01$).



Joonis 20. 2020. a 2- aastaste vähkide täispikkuse juurdekasv katsegruppide lõikes (\pm SD).

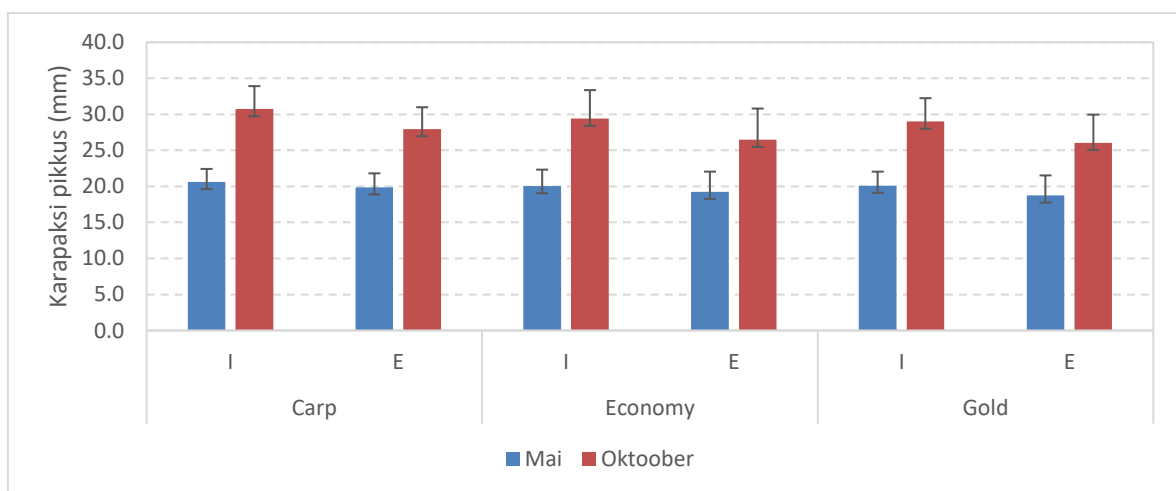
Oluline erinevus oli ka emaste ja isaste vähkide täispikkustes ($p < 0,001$) sõltuvalt söödast. Carp katsegrupi keskmine isaste täispikkuse suhteline juurdekasv oli 45% ja emastel 38%. Economy katsegrupis isastel 44% ja emastel 36% ja Gold katsegrupis isastel 41% ja emastel 37%. Kuigi Gold katsegrupi emaste suhteline juurdekasv oli suurem kui Economy katsegrupil, jäi Gold katsegrupis keskmine mass võrreldes teiste katsegruppidega siiski väiksemaks (joonis 21).



Joonis 21. 2020. a 2- aastaste isaste (I) ja emaste (E) vähkide täispikkused (\pm SD) mais ja oktoobris katsegruppide kaupa.

Karapaksi pikkuse juurdekasv

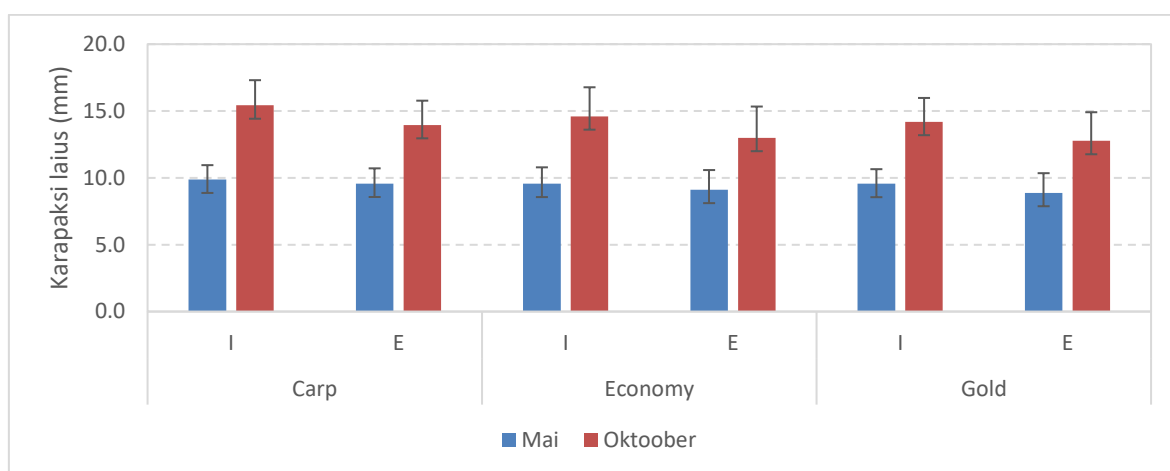
Karapaksi pikkused olid samuti kõikides katsegruppides isastel oluliselt suuremad kui emastel ($p < 0,001$). Katse alguses ehk mais oli Carp katsegrupi keskmine isaste suhteline juurdekasv 49% ja emastel 41%, Economy katsegrupis isastel 47% ja emastel 37% ning Gold katsegrupis isastel 44% ja emastel 39% (joonis 22; tabel 9). Carp katsegrupis oli karapaksi pikkuse juurdekasv oluliselt suurem, kui teistes katsegruppides ($p < 0,05$).



Joonis 22. 2020. a 2- aastaste isaste (I) ja emaste (E) vähkide karapaksi pikkused mais ja oktoobris katsegruppide lõikes (\pm SD).

Karapaksi laiuse juurdekasv

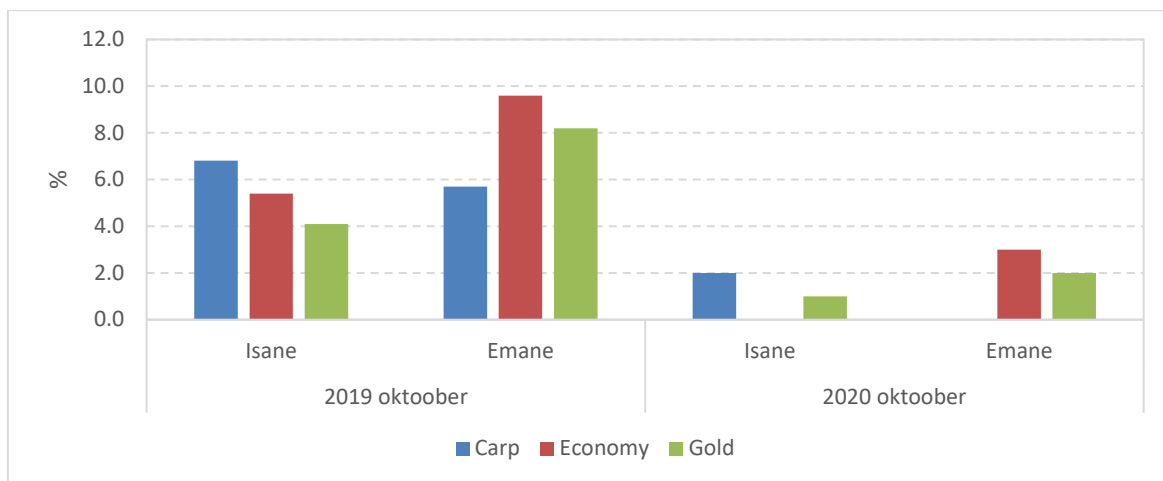
Samuti on ka karapaksi laius söödagruppides isastel oluliselt suurem kui emastel ($p < 0,001$). Katse alguses oli Carp katsegrupi keskmine karapaksi laiuse suhteline juurdekasv isastel 54% ja emastel 46%, Economy katsegrupis oli isastel 53% ja emastel 43% ning Gold katsegrupis isastel 49% ja emastel 44% (joonis 23; tabel 9). Kõikides katsegruppides on karapaksi laiuse ja sööda vahel tugev statistiline seos ($p < 0,01$).



Joonis 23. 2020. a 2- aastaste isaste (I) ja emaste (E) vähkide karapaksi laiused mais ja oktoobris katsegruppide lõikes (\pm SD).

3.2.2. Puuduvate ja taastuvate jäsemetega vähkide osakaal

2020. a söötmiskatse lõpus oli puuduvate ja taastuvate jäsemetega isendite osakaal oluliselt väiksem kui 2019. a katses ($p < 0,001$). Soo ja vigastuste vahel on statistiliselt oluline seos ($p < 0,001$). Vigastuste osakaal oli 2020. a Gold ja Economy katsegruppides võrdne (3%), kuid Economy katsegrupi isastel vigastusi ei esinenud. Emastel vigastuste osakaal suurem (5%) kui isastel (3%), kuid emastel ei esinenud vigastusi Carp katsegrupis (joonis 24). Sööda ning puuduvate ja taastuvate jäsemetega isendite esinemise vahel seos puudub ($p > 0,05$).



Joonis 24. Puuduvate ja taastuvate jäsemetega vähkide osakaal katsegruppide ja sugude lõikes 2020 söötmiskatsetes.

3.2.3. Ellujäämus

2020. a söötmiskatse lõpus oli kõikides katsegruppides vähke rohkem kui katse alguses. Carp katsegrupist leiti kaks, Economy katsegrupist neli ning Gold katsegrupist üks lisavähk. Lisandunud vähid on ilmselt 2019. a katse 1- aastased puuduvad vähid, kes suuruse tõttu võisid loendamisel jääda märkamata. Kui arvata maha lisandunud vähid, oli katsegruppides ellujäämus siiski 100%.

2020. aastal ei mõjutanud sumpade paiknemine tiikides vähkide ellujäämust ja kasvu ($p > 0,05$)

Lisaks ei avaldanud kahe katseaasta lõikes Economy söödale lisatud polüfenoolid ellujäämusele olulist mõju.

4. ARUTELU

4.1. 2019. a kasv ja ellujäämus

2019. a söötmiskatses söödagruppide suhtelised juurdekasvud oluliselt ei erinenud, kuid veidi suurem oli see Carp katsegrupis (193,5%). EMÜ söötmislabori Weende analüüs näitas Carp Aller Classic Vitamax söödas veidi suuremat proteiinisaldust (33,4%) võrreldes Itaalias välja töötatud söötadega (Economy söödas 28,4% ja Gold söödas 29,7%), mis selgitab karpkala söödagrupi väikest kasvuedu. Kirjanduse andmetele tuginedes vajavad noorvähid ja täiskasvanud vähid optimaalseks kasvuks erineva proteiinisaldusega sööta ning välja on toodud, et noorjärgud vajavad võrreldes täiskasvanutega sööta, kus on suurem proteiinisaldus (Cortes-Jacinto *et al.* 2004). Cortes-Jacinto *et al.* (2004) katse näitas, et noorvähkide kasv oli kõige parem söödal, mille proteiinisaldus oli 31%. Erol *et al.* (2017) katses kasutati söötadeks elussööta (*Daphnia magna*), mille proteiinisaldus oli 42,05% ja vikerforelli kommertssööta, mille proteiinisaldus oli 55%. Suurem kasvumäär oli forellisööda grupis (3,22% ja 3,07%) ning madalam elussööda grupis (2,64% ja 2,61%). Carral *et al.* (2011) katses kasutati kontrollsöödaks granuleeritud forellisööta, milles proteiini 54% ja teiseks katsegrupiks valmistati kirjanduse põhjal optimaalsete toitainete sisaldusega sööt, milles oli proteiini 50,22%. Katse vältel oli nii karapaksi pikkus, kui ka mass suuremad kontrollgrupis, kuid katse lõppedes olid mõlemad parameetrid suuremad katsegrupis. Nii kirjanduse kui käesoleva katse põhjal saab järeldada, et vähi noorjärgude juurdekasv on parem suurema proteiinisaldusega söödal.

Lisaks on söödas oluline ka rasvasisaldus, kus käesoleva katse Carp Aller Classic Vitamax sööda rasvasisaldus oli Weende analüüsi alusel 7%, Economy katsegrupi söödal 10,8% ja Gold katsegrupi söödal 10,5%. Suurim juurdekasv oli Carp katsegrupis, mis tähendab, et kasv on parem väiksema rasvasisaldusega söödal. Väiksema rasvasisaldusega sööda sobivust noorvähkidele tõestavad ka läbi viidud katsed. Erol *et al.* (2017) katses kasutati söötadeks elussööta (*Daphnia magna*), mille rasvasisaldus oli 16,2% ja vikerforelli kommertssööta, mille rasvasisaldus oli 13%. Kasv oli parem vikerforelli kommertssöödal, kus rasvasisaldus oli väiksem. Carral *et al.* (2011) katses kasutatud kontrollsööt ehk granuleeritud forellisööt sisaldas rasva 18% ja katsegrupiks valmistatud sööt sisaldas 12,4% rasva. Katse lõppedes oli vähkide kasv suurim katsergrupis, kus sööda rasvasisaldus oli

väiksem. Kirjanduse andmete põhjal peaks noorvähkide sööt sisaldama 1-4% rasva. Liiga kõrge rasvasisaldus (>10%) võib mõjuda vähkidele negatiivselt ning võib kasvu vähendada (Kozák *et al.* 2015). Soovitavalt oleks vajalik 1- aastaste vähkide rasvasisaldust söödas vähendada.

Lisaks sai eraldi analüüsitud isaseid ja emaseid isendeid, et hinnata kasvuerinevusi. Kirjanduses on välja toodud, et vähkide juurdekasv peale kestumist on tavaliselt vahemikus 5%-10%, kuid isastel võib olla see suurem (Zimmerman 2009). Käesolev katse tõestab, et isaste suhteline juurdekasv on suurem kui emastel. Kõikide katsegruppide isaste keskmine suhteline juurdekasv oli 203%, samas kui emastel oli see 157%, mis on 3,6 korda väiksem. Tulemused oleksid olnud võrreldavamad, kui katsegruppides oleksid olnud kas ainult isased või ainult emased isendid.

Katse lõpus oli Carp katsegrupi ellujäämus kõige suurem (98%) ning kõige väiksem ellujäämus oli Economy katsegrupis (92%), Gold katsegrupis ellujäämus oli 94%. Suremused ei olnud tingitud söödast vaid võisid olla tingitud asustustihedusest (20 vähki/m²), mis suurendas kannibalismi, samas on väikeste vähkide puhul suremine loomulik. Mazlum (2007b) poolt läbi viidud katse näitas, et suurem asustustihedus vähendab ellujäämust. Kõige väiksem asustustihedus, mida katses kasutati, oli 50 vähki/m², kus ellujäämus oli 85,4%, asustustihedusel 100 vähki/m² oli ellujäämus 73,8% ning 200 vähki/m² oli ellujäämus 61% ehk asustustiheduse suurenemisega langes ka ellujäämus. Ulikowski *et al.* (2006) katses kasvatati vähki kahel asustustihedusel (600 vähki/m²; 1,200 vähki/m²) ning mõlemal juhul jäid ellujäämused alla 50%, kuid tulemused olid siiski veidi paremad väiksemal asustustihedusel. Lisaks mainitakse, et vähkide suremused oli esimesel 30-1 päeval suurimad. Järeldada võib, et kohanemisperiood võib noorvähkidele tekitada stressi, mis omakorda vähendab ellujäämust.

Oluline on vähendada jäsemete vigastuste esinemist, kuna sõra kaotanud vähid on väiksemad ning kannibalismile vastuvõtlikumad, mistõttu suureneb suremus (Mazlum 2007b). Käesoleva 2019. a katseperioodi lõpuks oli puuduvate ja taastuvate jäsemetega isendite osakaal üsna suur. Carp katsegrupis oli jäsemete vigastuste osakaal suurim (15%), kõige väiksem aga Gold katsegrupis (12,35%), mis ei jäänud palju alla Economy katsegrupi osakaalule (12,5%). Kuna osakaalud on üsna võrdsed, võib öelda, et sööt ei mõjutanud jäsemete vigastusi, samuti kinnitab seda statistiline analüüs ($p > 0,05$). Välistada ei saa, et jäsemete puudumise põhjuseks ei võinud olla ebaõnnestunud kestumised (Ingle 1997).

Kirjanduse andmetel suurendab ebasobiv asustustihedus agressiivsust ja kannibalismi, millest võib eeldada, et jäsemete puudumise ja taastumise osakaalud olid suured pigem asustustiheduse tõttu (Mazlum 2007b). Emastel esines jäsemete vigastusi rohkem, mistõttu tuleks kiskluse vähendamiseks emased ja isased võimalikult varakult üksteisest eraldada, kuna emased on isastest väiksemad ning vigastustele vastuvõtlikumad (Ingle 1997).

Vähid on ektotermilised ehk nende kehatemperatuur sõltub väliskeskkonnast, mistõttu on sobilik veetemperatuur vähkidele väga oluline (Westhoff, Rosenberger 2016). 2019. a katse jooksul varieerus veetemperatuur 6,5-20,5 °C vahel, keskmine veetemperatuur oli 14,8±2,9 °C. Võib järeldada, et juurdekasvud oleksid olnud suuremad, kui käesoleva katse veetemperatuur oleks kõrgem olnud, kuna kirjanduse andmetel peetakse jõevähi optimaalseks kasvu temperatuuriks vahemikku 16-24 °C. Pidevalt madal veetemperatuur (10-15 °C) piirab kasvu ja kestumised ebaõnnestuvad (Zimmerman 2009). Hapnikutase katse vältel varieerus 5,7-11,5 mg/l vahel ning keskmine hapnikusisaldus oli 8,7±1,23 mg/l, mida võib jõevähkidele sobilikuks pidada, kuna kirjanduse andmetel loetakse kriitiliseks hapnikutaset alla 3 mg/l ja optimaalseks >5 mg/l (Kozák *et al.* 2015).

4.2. 2020. a kasv ja ellujäämus

2020. a katseks Itaalia söötasid muudeti ja suurendati proteiinisaldust söödas (Economy=38,7%; Gold=39,1%), Carp kommertssööt jäi samaks, mis 2019. a katses ehk proteiinisaldus oli võrreldes Economy ja Gold söödaga sellel aastal väiksem (33,9%). Siiski oli 2- aastaste vähkide suhteliste juurdekasvude keskmine suurim Carp katsegrupis (89,12%). Economy (77,5%) ja Gold (76,75%) söötade juurdekasvud olid enam-vähem samad. Miao *et al.* (2020) katse tõestab, et kõrgema proteiinisaldusega söödal olnud vähkide kasv on siiski parem, kui väiksema proteiinisaldusega söödal. Katse viidi läbi kahe aasta vanuste noorjarkudega (5,17±0,32g), kus söödaks anti kuue erineva proteiinisaldusega söötasid (6 %, 28 %, 30 %, 32 %, 34 %). Tulemused näitasid, et vähkidel, keda söödeti 32% ja 34% proteiinisaldusega söödaga, oli lõplik kaal, juurdekasvu määr ja spetsiifiline kasvukiirus oluliselt suurem kui 26% ja 28% proteiinisaldusega söödal ($p < 0,05$). Kirjanduses on välja toodud, et vähkide looduslik toidu koostis muutub nende

vanusega. Ligikaudu 65% noorvähkidest tarbivad loomset toitu, samas kui täiskasvanud vähid tarbivad ainult 10% (Holdich 2002). Sellest võib järeldada, et vähkide vanemaks saades eelistatakse toituda veidi väiksema proteiinisaldusega söödast. Samas on kirjanduse andmetel optimaalne proteiinide sisaldus vähisöödas 25-30% vahel (Kozák *et al.* 2015).

Proteiinisalduse tõstmisega Itaalia söötades suurenes ka rasvasisaldus. (Economy=12,2%; Gold=13,2%), kuid kasv oli siiski parem Carp katsegrupis, kus sööda rasvasisaldus oli Weende analüüsi alusel 7,2%. Samas on Kozák *et al.* (2015) enda kirjanduse maininud, et noorvähile optimaalseks rasvasisalduseks söödas on 1-4% ning rasvasisaldus üle 10% võib vähkidele mõjuda negatiivselt. Erol *et al.* (2017) ja Carral *et al.* (2011) katsetulemused viitavad samuti sellele, et vähkidele sobib pigem väiksema rasvasisaldusega sööt. Antud katse tulemuste kohaselt võiks soovituslik rasvasisaldus söödas olla ~7%, samas kirjanduse andmetele tuginedes võiks rasvasisaldus söödas olla isegi väiksem. Kokkuvõtteks võib järeldada, et Carp sööda koostis (väiksem rasvasisaldus) ja omadused võivad olla jõevähkidele sobilikumad, kui välja töötatud Itaalia söötadel. Lisaks võis Carp katsegrupi hea juurdekasvu tulemus olla tingitud varakult saadud kasvueelisest. Kuna 2020. a kasvuperioodi alguses anti COVID pandeemia tõttu kõikidele katsegruppidele Carp sööta, siis üleminek Itaalia söötadele võis samuti pidurdada Economy ja Gold katsegruppide kasvu.

Lisaks sai ka 2020. a isaseid ja emaseid analüüsitud, ning tulemustes selgus, et isaste suhteline juurdekasv on suurem kui emastel. Kõikide katsegruppide isaste keskmine suhteline juurdekasv oli 94%, samas kui emastel oli see 76%. Economy katsegruppides oli emaste juurdekasv väiksem kui Carp ja Gold katsegruppides, samas isaste kasv oli väiksem kõikides Gold katsegruppides.

2020. a kasvuperioodiks vähendati 2- aastastel vähkidel asustustihedust (~11 vähki/m²) kuna, mida suuremaks kasvab vähk, seda väiksem peab olema asustustihedus. Ellujäämus oli katses 100%, mis näitab, et asustustihedus oli vähkidele sobiv. Väiksema asustustiheduse korral on vähkidel väiksem kontakt ja konkurents, mille tõttu väheneb omakorda agressiivsus ja kannibalism (Mazlum 2007b). Oluline on tagada vähkidele piisavalt varjupaika (Kozák *et al.* 2015). Lisaks lisati parema ellujäämise hindamiseks ainult Economy söödale polüfenoole, mis teadaolevalt parandavad vähkide immuunsust, suurendades ellujäämist ja kasvu. Ka Parrillo *et al.* (2017) katse kinnitab, et polüfenoolidega rikastatud söödal olnud vähkide kasvu- ja toitumisindeksid paranesid oluliselt, samuti paranes toitainete seeduvus, sööda efektiivsus ja juurdekasvu kiirus. Käesolevas katses aga

Economy söödale lisatud polüfenoolid olulist mõju ellujäämusele ja kasvule võrreldes teiste söötadega kahe katseaasta lõikes ei avaldanud. Samas võib polüfenooli sisaldav sööt olla eeliseks kehvemates keskkonnatingimustes ning selle mõju vähkidele tuleks uurida pikemas perspektiivis.

Jäsemete vigastusi esines 2020. a katses vähem kui 2019. a katses ($p < 0,001$), kus osakaal Carp katsegrupis oli 2%, Economy katsegrupis 3% ning Gold katsegrupis 3%. Käesolev katse aga näitas, et emastel vähkidel on vigastusi rohkem. Lisaks võib jäsemete puudumise põhjuseks olla ka ebaõnnestunud kestumised (Ingle 1997). Käesolevas katses sööda ning puuduvate ja taastuvate jäsemetega isendite vahel seos puudub ($p > 0,05$), millest võib eeldada, et söödast tingitud kisklust ei olnud.

2020. a katse jooksul varieerus temperatuur 7,2-21 °C, keskmine veetemperatuur oli $12,7 \pm 3,04$ °C, mis oli madalam kui 2019. a katses. Peamiseks kasvu mõjutavaks teguriks on veetemperatuur, mistõttu võib toitumine häiruda ning toidu tarbimise efektiivsus väheneb (Mazlum 2007a) ehk võib eeldada, et 2020. a katse veetemperatuur piiras kasvu ning maksimaalset taset ei saavutatud. Keskmine hapnikusisaldus katse vältel oli 10 ± 1 mg/l ning varieerus katse vältel 6,4-12,1 mg/l ehk oli suurem kui 2019. a katses kuid kirjanduse andmetele tuginedes on mõlemal aastal hapnikusisaldus vähkidele sobilik ning alla 5 mg/l ei langenud (Kozak et al. 2015).

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli hinnata kolme erineva sööda mõju ühe- ja kaheaastaste jõevähkide (*Astacus astacus*) kasvule ja ellujäämusele.

Antud katse tulemustest selgus, et vähi noorjärgud vajavad kiiremaks kasvuks üle 30%-lise proteiinisaldusega ja alla 10%-lise rasvasisaldusega sööta. 2019. aastal läbi viidud söötiskatses 1- aastaste vähkide juurdekasvudes katsegruppide vahel olulist erinevust ei olnud, kuid juurdekasv oli siiski veidi parem Carp katsegrupis, kus sööt sisaldas 33,4% proteiini. Economy ja Gold katsegruppide juurdekasvud olid üsna võrdsed, kuid proteiinisaldused söödas olid võrreldes Carp söödaga väiksemad (Economy=29,7%; Gold=28,4%). Lisaks on väga oluline rasvasisaldus ning kirjanduse andmetel peaks vähkide söödas rasvasisaldus jääma alla 10%. EMÜ söötislabori Weende analüüs näitas Carp Aller Classic Vitamax söödas väiksemat rasvasisaldust (7%) võrreldes Itaalias välja töötatud söötadega (Economy söödas 10,5% ja Gold söödas 10,8%), mis selgitab Carp katsegrupi väikest kasvuedu.

2020. a katseks Itaalia söötasid muudeti ja suurendati proteiinisaldust söödas (Economy=38,7%; Gold=39,1%), Carp kommertssööt jäi samaks, mis 1- aastaste vähkide söötiskatses ehk proteiinisaldus oli võrreldes Economy ja Gold söödaga sellel aastal väiksem (33,9%). Siiski oli 2- aastaste vähkide suhteliste juurdekasvude keskmine suurim Carp katsegrupis (89,12%). Economy (77,5%) ja Gold (76,75%) söötade juurdekasvud olid enam-vähem samad. Proteiinisalduse tõstmisega Itaalia söötades suurenes ka rasvasisaldus, mis võis pärssida Economy ja Gold katsegruppide kasvu (Economy=12,2%; Gold=13,2%), kuna kasv oli siiski parem Carp katsegrupis, kus sööda rasvasisaldus oli Weende analüüsi alusel 7,2%. Carp katsegrupi parema juurdekasvu tulemuseks võib olla ka varakult saadud kasvueel, kuna 2019. a 1- aastaste vähkide söötiskatses oli juba Carp katsegrupi juurdekasv veidi parem. 2020. a kasvuperioodi alguses Itaalia söödad viibisid COVID pandeemia tõttu ning katse alguses said kõik katsegrupid Carp Aller Classic Vitamax sööta. Juuni keskpaigas Itaalia söötadele uuesti üleminek võis samuti olla üheks kasvu pärssivaks teguriks Economy ja Gold katsegrupis.

Peamiseks probleemiks söötade valmistamisel on söödakomponentide õigete sisalduste saamine. Antud katse tõestas, et arvutuste põhisel valmistatud söötade puhul saadakse valed

tulemused ning õigete tulemuste saamiseks on vajalik teha eraldi analüüse, mis omakorda võtavad palju aega ja raha.

Ellujäämused olid mõlemal aastal väga head, kus 2019. a Carp katsegrupis oli ellujäämus 98%, Economy katsegrupis 94% ja Gold katsegrupis 92%, samas 2020. a oli kõikide katsegruppide ellujäämus 100%. Käesoleva katse head ellujäämused näitavad aga seda, et kasvukeskkond ja asustustihedus olid vähkide jaoks sobivad. Polüfenoole sisaldav sööt (Economy) ei andnud teiste söötadega võrreldes ellujäämuses olulist eelist, kuid see võib osutuda oluliseks pikema ajaperioodi vältel ja ebasoodsamates keskkonnatingimustes.

2019. a vigastuste osakaal oli emastel vähkidel suurem (23,5%) kui isastel (16,3%). Samas 2020. a vigastuste osakaal oli palju väiksem kui 2019. a, kuid siiski oli emaste osakaal suurem (5%) kui isastel (3%). Vigastuste vähendamiseks tuleks emased ja isased võimalikult varakult üksteisest eraldada, kuna ka käesolev katse tõestas, et emased on isastest väiksemad ning seetõttu ka vigastustele vastuvõtlikumad.

Teadaolevalt on vähkide optimaalne kasvuperioodi temperatuur vahemikus 16-24 °C, kuid käesolevas katses olid keskmised veetemperatuurid palju madalamad (2019= $14,8 \pm 2,9$ °C; 2020= $12,7 \pm 3,04$ °C), mis võis vähkide kasvu pärssida. Käesoleva katse tiigi läbivool oli minimaalne ning vett lisati juurde vaid aurustumise kao jagu, kuna vesi tuli Lavi ohvriallikast, mille veetemperatuur oleks pideva läbivoolu korral vähkide kasvuks veelgi madalam olnud.

Käesoleva magistritöö tulemused oleksid juurdekasvu seisukohalt olnud ilmselt paremad, kui kohe katse alguses oleks söötadele tehtud Weende analüüs, mis oleks andnud õiged söödakomponentide sisaldused, kuna arvutuslike tulemuste põhjal oli rasvasisaldus vähkidele optimaalne, kuid Weende analüüsi tulemusel liiga kõrge. Samas oleksid juurdekasvud olnud ka paremad sellisel juhul, kui vähkidele oleks olnud tagatud vee kõrgem temperatuur, mistõttu oleks edaspidistes sarnastes uurimustes mõistlik kasutada veesoojendajaid. Kannibalismi vähendamiseks tuleks aga emased ja isased vähid varakult eraldada, kuna emaste kasv on isastest väiksem ning seetõttu on nad ka vastuvõtlikumad vigastustele.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Abeel, T., Vervaecke, H., Roelant, E., Platteaux, I., Adriaen, J., Durinck, G., Meeus, W., Van de Perre, L., Aerts, S. (2016). Evaluation of the influence of light conditions on crayfish welfare in intensive aquaculture-*Ethics, Science & Culture*. Vol 13, pp 244-250.
- Ackefors, H. (2000). Freshwater crayfish farming technology in the 1990s: a European and global perspective- *Fish and Fisheries*, Vol. 1, No. 4, pp. 337-359.
- Alderman, D.J., Wickins, J.F. (1996). Crayfish Culture-Lab. Leaflet, MAFF Direct. Fish.Res., Lowestoft, No. 76, pp. 22.
- Aydın, H., Dilek, K. M. (2004). Effects of Different Water Temperatures on the Hatching Time and Survival Rates of the Freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus* (Esch., 1823) Eggs. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 4, pp. 75-79.
- Carral, J. M., González, A., Celada, J. D., Sáez-Royuela, M., García, V., González, R. (2011). Proposal of a practical diet for juvenile *astacid* crayfish studies from the onset of exogenous feeding under controlled conditions-*Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst*. Vol. 401, No. 20, pp. 8.
- Chen, S., Jiang, S., Jiang, H. (2020). A review on conversion of crayfish-shell derivatives to functional materials and their environmental applications-*Journal of Bioresources and Bioproducts*. Vol. 5, No. 4, pp. 238-247.
- Cortes-Jacinto, E., Villarreal-Colmenares, H., Civera-Cerecedo, R., Lucia Elizabeth Cruz-Suarez, L. E. (2004). Studies on the nutrition of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens): Effect of the dietary protein level on growth of juveniles and pre-adults-*Freshwater Crayfish*. Vol. 14, pp. 70-80.
- Crandall, K. A. (2014). Global diversity of crayfish (*astacidae*, *cambaridae* and *parastacidae-decapoda*) in freshwater molecular evolution view project SARS Cov2 view project.
- Dieguez-Urbeondo, J., Temino, C., Müzquiz, J.L. (1997). The crayfish plague fungus (*Aphanomyces astaci*) in Spain-*Bull. Fr. Pêche Piscic*. Vol. 347, pp. 753-763.
- Erol, K. G., Özkök, R., Cilbiz, N., Kücükara, R., Cinar, S., Tümgelir, L., Ceylan, M., Meke, T., Diler, Ö., Didinen, B. I., Bahadır-Koca, S. (2017). Effect of Different Feed and Stocking Density on Survival and Growth Performance of *Astacus leptodactylus* (Esch., 1823) Juveniles-*Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*. Vol. 3, No. 3, pp. 159-165.
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EL) nr 1143/2014. (2014). Looduslikku tasakaalu ohustavate võõrliikide sissetoomise ja levimise ennetamise ja ohjamise kohta
- Grimm, W, P. (2000). Crayfish (Early Bird Nature Books). Lerner Pub Group. 47 p.

- Gutierrez, M.L., Rodriguez, E.M.** (2010). Effect of protein source on growth of early juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae)-*Freshwater Crayfish*. Vol. 17, pp. 23–29.
- Haddaway, R.N., Mortimer, R.J.G., Christmas, M., Dunn, M.A.** (2013). Effect of pH on Growth and Survival in the Freshwater Crayfish *Austropotamobius pallipes*-*Freshwater Crayfish*. Vol. 19, No. 1, pp. 53–62.
- Haddaway, R.N., Mortimer, R.J.G., Christmas, M., Dunn, M.A.** (2015). Water chemistry and endangered white-clawed Crayfish: a literature review and field study of water chemistry association in *Austropotamobius pallipes*- *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. Vol. 416, No. 1, pp. 26.
- Hesni, A. M., Shabanipour, N., Zahmatkesh, A., Toutouni, M. M.** (2009). Effects of Temperature and Salinity on Survival and Moulting of the Narrow-Clawed Crayfish, *Astacus Leptodactylus* Eschscholtz, 1823 (Decapoda, Astacidea)-*Crustaceana*. Vol. 82, No. 12, pp. 1495-1507.
- Holdich, M, D.** (2002). Biology of freshwater crayfish. Blackwell Science Ltd. Osney Mead, Oxford. 702 p.
- Holdich, M. D., Reynolds, D. J., Souty-Grosset, C., Sibley, J. P.** (2009). A review of ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species-*Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. Vol. 11, pp. 394-395.
- Hollows, J.** (2016). Freshwater crayfish farming -a guide to getting started. Ernslaw One Ltd. 25 p.
- Ingle, R.W.** (1995). The UFAW Handbook on the Care and Management of Decapod Crustaceans in Captivity. England: Universities Federation for Animal Welfare. 69 p.
- Ingle, R.W.** (1997). Crayfishes, Lobsters and Crabs of Europe. London. Chapman & Hall. 292 p.
- Johnsen, S., Strand, D. A., Rusch, J. C., Vralstad, T.** (2020). Environmental DNA monitoring of noble crayfish *astacus astacus* in lentic environments offers reliable presence-absence surveillance - but fails to predict population density. *Frontiers in Environmental Science*.
- Karadal, O., Türkmen, G.** (2018). Effects of Feeding Frequency on Growth Performance and Molting Cycle of Two Different Size Classes of Red Swamp Crayfish (*Procambarus clarkii*)-*Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*. Vol. 4, No. 3, pp. 140-145.
- Kozák, P., Duriš, Z., Petrusek, A., Buřič, M., Horká I., Kouba, A., Kozubíková-Balcarová, E., Polícar, T.** (2015). Crayfish Biology and Culture. Faculty of Fisheries and Protection of Waters. Vodňany. University of South Bohemia in České Budějovice. 452 p .
- Kouba, A., Kanta, J., Buřič, M., Polícar, T., Kozák, P.** (2010). The Effect of Water Temperature on the Number of Moults and Growth of Juvenile Noble Crayfish, *Astacus astacus* (Linnaeus)-*Freshwater Crayfish*. Vol. 17, pp. 37–41.
- Laanetu, N., Kuk, L., Tuusti, J., Hurt, M., Paaver, T., Kivistik, M., Ärmus, J.** (2004). Tegevuskava jõevähi (*Astacus astacus* L.) kaitseks, varude taastamiseks ja kasutamiseks Eestis. Tartu, 63 lk.

- Longshaw, M., Stebbing, P.** (2016). *Biology and Ecology of Crayfish*. CRC Press, Taylor & Francis Group. 374 p.
- Luquet, G., Dauphin, Y., Percot, A., Salome, M., Ziegler, A., Fernandez, S.M., Arias, L.J.** (2016). Calcium Deposits in the Crayfish, *Cherax quadricarinatus*: Microstructure Versus Elemental Distribution-*Microsc.Microanal.* Vol 22, pp 22-38.
- Mannonen, A., Paaver, T.** (2001). Vähk ja vähikasvatus. Vähikasvatuse seminar. Jäned, 15–16. märts. Õppematerjali käsikiri EMÜ-s.
- Mazlum, Y.** (2007a). Effects of Temperature on the Survival and Growth of Two Cambarid Crayfish Juveniles- *Crustaceana*. Vol. 80, No. 8, pp. 947-954.
- Mazlum, Y.** (2007b). Stocking density affects the growth, survival, and cheliped injuries of third instars of narrow-clawed crayfish, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823 juveniles- *Crustaceana*. Vol. 80, No. 7, pp. 803-815.
- Mazlum, Y., Güner, Ö., Şirin, S.** (2011). Effects of Feeding Interval on Growth, Survival and Body Composition of Narrow-Clawed Crayfish, *Astacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823 Juveniles- *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 11, pp. 283-289.
- Mazlum, Y., Şirin, S.** (2020). The Effects of Using Different Levels of Calcium Carbonate (CaCO₃) on Growth, Survival, Molting Frequency and Body Composition of Freshwater Crayfish Juvenile, *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). *Tarım ve Doğa Derg.* Vol 23, No. 2, pp. 506-514.
- McClain, R. W., Romaine, P. R., Lutz, G. C., Shirley, G. M** (2007). *Louisiana Crawfish Production Manual*. Ag Center Research & Extension. 57 p.
- Miao, S., Han, B., Li, J., Hu, J., Wan, W., Sun, L., An, Z.** (2020). Effects of dietary protein level on the growth performance, feed utilization and immunity of red swamp crayfish *Procambarus clarkia*-*Aquaculture Reports*. Vol. 18, No. 13, pp. 7.
- Oidtman, B., Cerenius, L., Schmid, I., Hoffmann, R.** (1999). Crayfish plague epizootics in Germany - Classification of two German isolates of the crayfish plague fungus *Aphanomyces astaci* by random amplification of polymorphic DNA-*Diseases of Aquatic Organisms*. Vol. 35, No. 3, pp. 235-238.
- Parrillo, L., Coccia, E., Grazia Volpe, M., Siano, F., Pagliarulo, C., Scioscia, E., Varricchio, E., Safari, O., Eroldogan, T., Paolucci, M.** (2017). Olive mill wastewater-enriched diet positively affects growth, oxidative and immune status and intestinal microbiota in the crayfish, *Astacus leptodactylus*-*Aquaculture*. Vol 473, pp 161-168.
- Reynolds, J., Souty-Grosset, C.** (2012). *Management of Freshwater Biodiversity, Crayfish as Bioindicators*. Cambridge University Press, New York. 374 p.
- Saez-Royuela, M., Carral, M.J., Celada, J.D., Perez, J.R.** (2002). Effects of shelter type and food supply frequency on survival and growth of stage-2 juvenile white-clawed crayfish

- (*Austropotamobius pallipes* Lereboullet) under laboratory conditions-*Aquaculture International*. Vol. 9, pp. 489–497.
- Seemann, U.B., Lorkowski, K., Slater, M.J., Buchholz, F., Buck, B.H.** (2014). Growth performance of Noble Crayfish *Astacus astacus* in recirculating aquaculture systems-*Aquaculture International*. Vol. 23, No. 4, pp. 997-1012.
- Seemann, U.B., Lorkowski, K., Slater, M.J., Buchholz, F., Buck, B.H.** (2017). Feed Alternatives for Noble Crayfish *Astacus astacus* Based on Fatty Acid and Lipid Analyses-*Journal of Shellfish Research*. Vol 36, No 2, pp 519-527.
- Zimmerman, J. K. M.** (2009). Conditions for sustainable crayfish populations in northern Sweden- Mid Sweden University, Department of Natural Sciences, Engineering and Mathematics. 30 p.
- Ulikowski, D., Krzywosz, T., Śmietana, P.** (2006). A comparison of survival and growth in juvenile *Astacus leptodactylus* (Esch.) and *Pacifastacus leniusculus* (Dana) under controlled conditions-*Bull. Fr. Pêche Piscic.* No. 380-381, pp. 1245-1253.
- Westhoff, T. J., Rosenberger, E. A.** (2016). A global review of freshwater crayfish temperature tolerance, preference, and optimal growth-*Rev Fish Biol Fisheries*. Vol. 26, pp. 329–349.
- Vähikasvatuse seis Eestis 2017. aasta kevadel. (2018). Pärnu: Kalanduse teabekeskus. https://www.kalateave.ee/images/vahikasvatus_2017_uuring.pdf (19.05.2021).
- Yta, A.G., Davis, D.A., Rouse, D.B., Ghanawi, J., Saoud, I.P.** (2012). Evaluation of practical diets containing various terrestrial protein sources on survival and growth parameters of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*-*Aquaculture Research*. Vol. 43, pp. 84–90.

,

Interneti allikad:

1. Aquarium breeder. (s. a.). Crayfish External Anatomy. [veebileht] <https://aquariumbreeder.com/crayfish-external-anatomy/> (03.03.2021)
2. Ghent University (s. a.). Analytical Techniques in Aquaculture [veebileht] <https://aquaculture.ugent.be/Education/coursematerial/online%20courses/ATA/analysis/proxi.htm/> (24.05.2021)
3. More Than a Dodo. (2017). Crayfish of the World United. [veebileht] <https://morethanadodo.com/tag/crayfish/> (03.03.2021)

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Agnes Teorein,

Sünniaeg 25.07.1996, 49607252725,

annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Kolme erineva sööda mõju ühe- ja kaheaastaste jõevähkide (*astacus astacus*) kasvule ja ellujäämusele“, mille juhendaja on lektor Katrin Kaldre, *PhD*,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 2021

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)